

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломного проекту  
ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Ефективність впровадження технології Strip-Till при вирощуванні  
кукурудзи на зерно**

**Виконав:** студент 4 курсу, групи АІ-4-22 за  
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Воробйов Владислав Сергійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Деркач Олексій Дмитрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро – 2026

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р

## З А В Д А Н Н Я

### НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Воробйову Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема проєкту:** Ефективність впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно

керівник проєкту Деркач Олексій Дмитрович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «5» травня 2026 року № 912

**2. Строк подання студентом проєкту** 12.06.2026 р.

**3. Вихідні дані до проєкту** Огляд стану питання в галузі рослинництва та існуючих вирощування кукурудзи на зерно. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз вирощування кукурудзи на зерно в Україні та особливостей технологій її вирощування. 2. Розробка технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією strip-till. 3. Удосконалення пристрою для локального Внесення мінеральних добрив робочої секції Strip-till-агрегату. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка ефективності впровадження технології strip-till при вирощуванні кукурудзи на зерно. Загальні висновки. Бібліографічний список.

## 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. . Аналіз вирощування кукурудзи на зерно (A1). 2. Аналіз технічних рішень з обраної тематики (A1). 3. Технологічна карта виробництва кукурудзи на зерно (A1). 4. Загальний вигляд секції (A1). 5. Складальне креслення розпушувальної стійки (A1). 6. Складальне креслення тукового ножа (A2). 7. Носок ножа (A3). 8. Адаптерна пластина (A4). 9. Стійка верхня (A4). 11. Економічні показники (A2).

## 6. Консультанти розділів проєкту

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1-5           | Деркач О.Д.                               | 05.05.2026     | 12.06.2026       |
| Нормоконтроль | Кабат О.С.                                | 12.06.2026     |                  |

## 7. Дата видачі завдання: «05» травня 2026 р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту | Строк виконання етапів проєкту | Примітка |
|-------|---------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний (оглядовий)         | до 12.05.2026 р.               |          |
| 2     | Технологічний                   | до 19.05.2026 р.               |          |
| 3     | Конструкційний                  | до 26.05.2026 р.               |          |
| 4     | Охорона праці                   | до 02.06.2026 р.               |          |
| 5     | Економічний                     | до 09.06.2026 р.               |          |
| 6     | Графічна частина                | до 12.06.2026 р.               |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис )

Воробйов В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

\_\_\_\_\_

Деркач О.Д.

[illegible]

## ЗМІСТ

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АНОТАЦІЯ.....                                                                                                  | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                                     | 8  |
| 1. АНАЛІЗ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УКРАЇНІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ ЇЇ ВИРОЩУВАННЯ.....              | 10 |
| 1.1. Сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні .....                                              | 10 |
| 1.2. Біологічні особливості кукурудзи та агротехнічні вимоги до її вирощування.....                            | 13 |
| 1.3. Огляд технологій вирощування кукурудзи на зерно .....                                                     | 16 |
| 1.4. Обґрунтування теми дипломного проєкту .....                                                               | 20 |
| 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ STRIP-TILL .....                 | 23 |
| 2.1. Вихідні дані для розробки технологічної карти.....                                                        | 23 |
| 2.2. Обґрунтування складу технологічних операцій за технологією Strip-Till                                     | 26 |
| 2.3. Підбір техніки та методика визначення техніко-експлуатаційних показників агрегатів .....                  | 29 |
| 2.4. Розробка технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till .....               | 36 |
| 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ РОБОЧОЇ СЕКЦІЇ STRIP-TILL-АГРЕГАТУ .....  | 39 |
| 3.1. Аналіз конструкцій серійних Strip-Till-агрегатів та патентних рішень для локального внесення добрив ..... | 39 |
| 3.2. Будова та принцип роботи базової робочої секції Strip-Till-агрегату .....                                 | 45 |
| 3.3. Обґрунтування удосконалення пристрою для локального внесення мінеральних добрив .....                     | 47 |
| 3.4. Опис запропонованої конструкції розпушувальної стійки з туковим ножем .....                               | 50 |
| 3.5. Розрахунок основних параметрів пристрою для локального внесення добрив .....                              | 54 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6. Розрахунок тягового опору робочої секції Strip-Till-агрегату .....                                               | 59 |
| 3.7. Розрахунок адаптивної пластини кріплення тукового ножа на міцність ..                                            | 62 |
| 3.8. Технічне обслуговування та регулювання удосконаленого пристрою .....                                             | 67 |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....                                                             | 70 |
| 4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів .....                                                         | 70 |
| 4.2. Вимоги безпеки при експлуатації машинно-тракторних агрегатів.....                                                | 70 |
| 4.3. Вимоги безпеки при роботі з добривами та засобами захисту рослин ....                                            | 71 |
| 4.4. Заходи пожежної безпеки при виконанні польових робіт .....                                                       | 72 |
| 4.5. Захист навколишнього середовища при впровадженні технології Strip-Till .....                                     | 72 |
| 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ<br>ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО .. | 74 |
| 5.1. Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку .....                                                           | 74 |
| 5.2. Розрахунок витрат пального .....                                                                                 | 75 |
| 5.3. Розрахунок затрат праці .....                                                                                    | 76 |
| 5.4. Визначення загального економічного ефекту .....                                                                  | 77 |
| 5.5. Розрахунок строку окупності .....                                                                                | 78 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                                                                                               | 79 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....                                                                                          | 82 |
| ДОДАТКИ.....                                                                                                          | 85 |

## АНОТАЦІЯ

Воробйов В. Ефективність впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно / Дипломний проєкт на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Метою дипломного проєкту є оцінка ефективності впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно та удосконалення пристрою для локального внесення мінеральних добрив робочої секції Strip-Till-агрегату.

У роботі проаналізовано сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні, розглянуто біологічні особливості культури та основні технології її вирощування. Обґрунтовано доцільність застосування смугового обробітку ґрунту як ресурсозберігаючої технології.

Розроблено технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till на площі 300 га. Підібрано склад машинно-тракторних агрегатів, визначено обсяги механізованих робіт, витрати пального, затрати праці та кількість нормо-змін.

У конструктивній частині запропоновано удосконалену розпушувальну стійку з туковим ножом, адаптивними пластинами, тукопроводами та змінним носком ножа.

Розглянуто заходи з охорони праці, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища при виконанні технологічних операцій вирощування кукурудзи на зерно. У техніко-економічній частині визначено ефективність впровадження технології Strip-Till.

Ключові слова: кукурудза на зерно, Strip-Till, смуговий обробіток ґрунту, технологічна карта, локальне внесення добрив, розпушувальна стійка, туковий ніж, агроінженерія, економічна ефективність.

## ВСТУП

Кукурудза на зерно є однією з найважливіших сільськогосподарських культур України. Вона має велике значення для продовольчого, кормового, експортного та промислового напрямів аграрного виробництва. Зерно кукурудзи використовується у тваринництві, комбікормовій промисловості, харчовому виробництві, біоенергетиці та інших галузях. Завдяки високому потенціалу урожайності ця культура займає важливе місце у структурі зернового виробництва, однак її вирощування потребує значних матеріальних, енергетичних і трудових витрат.

У сучасних умовах аграрні підприємства змушені шукати технологічні рішення, які дозволяють зменшити собівартість виробництва без істотного зниження урожайності. Особливо актуальними є питання економії пального, раціонального використання мінеральних добрив, збереження ґрунтової вологи та зменшення кількості проходів машинно-тракторних агрегатів по полю. Традиційна технологія вирощування кукурудзи часто передбачає кілька операцій суцільного обробітку ґрунту, що збільшує витрати пального, затрати праці, зношування техніки та ущільнення ґрунту.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності вирощування кукурудзи на зерно є впровадження технології Strip-Till. Її суть полягає у смуговому обробітку ґрунту, за якого обробляється лише зона майбутнього рядка, а міжряддя залишаються менш порушеними та частково вкритими рослинними рештками. Такий підхід дозволяє поєднати переваги традиційного обробітку в зоні розміщення насіння з елементами ресурсозберігаючого землеробства. Крім того, технологія Strip-Till дає можливість локально вносити мінеральні добрива в зону розвитку кореневої системи рослин, що підвищує ефективність їх використання.

Метою дипломного проєкту є оцінка ефективності впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно та удосконалення

пристрою для локального внесення мінеральних добрив робочої секції Strip-Till-агрегату.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till. Предметом дослідження є машинно-тракторні агрегати, технологічні операції та робочий орган для локального внесення мінеральних добрив у процесі смугового обробітку ґрунту.

Для досягнення поставленої мети в дипломному проєкті передбачено виконати такі завдання: проаналізувати сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні; розглянути біологічні особливості культури та основні технології її вирощування; розробити технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till; підібрати склад машинно-тракторних агрегатів; запропонувати удосконалення робочої секції Strip-Till-агрегату; виконати необхідні конструктивні та експлуатаційні розрахунки; розглянути питання охорони праці й захисту навколишнього середовища; провести техніко-економічну оцінку ефективності запропонованої технології.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні можливості зменшення витрат пального та затрат праці при вирощуванні кукурудзи на зерно за рахунок заміни частини операцій традиційного обробітку ґрунту технологією Strip-Till. Запропоноване удосконалення робочого органа дозволяє забезпечити локальне внесення мінеральних добрив у межах обробленої смуги та підвищити ремонтпридатність конструкції.

Таким чином, тема дипломного проєкту є актуальною для агроінженерного напрямку, оскільки поєднує технологічне, конструктивне та економічне обґрунтування впровадження ресурсозберігаючої технології вирощування кукурудзи на зерно.

# **1. АНАЛІЗ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УКРАЇНІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЙ ЇЇ ВИРОЩУВАННЯ**

## **1.1. Сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні**

Кукурудза на зерно є однією з провідних зернових культур України та має важливе значення для продовольчого, кормового й експортного потенціалу аграрного сектору. Її вирощування забезпечує сировину для комбікормової промисловості, тваринництва, крохмале-патокового виробництва, спиртової та біоенергетичної галузей. У структурі зернового виробництва України кукурудза займає одне з ключових місць завдяки високій потенційній урожайності, широкому використанню зерна та стабільному попиту на внутрішньому і зовнішньому ринках.

До початку повномасштабної війни виробництво кукурудзи в Україні характеризувалося загалом висхідною динамікою. Найвищі показники за останні роки були досягнуті у 2021 році, коли зібрана площа кукурудзи на зерно становила 5481,8 тис. га, валовий збір — 42109,8 тис. т, а середня урожайність — 7,67 т/га. Такий результат був зумовлений поєднанням значних посівних площ, сприятливіших погодних умов порівняно з окремими попередніми роками, використанням продуктивних гібридів та інтенсивних технологій вирощування [1].

У 2022 році внаслідок воєнних дій, порушення логістичних ланцюгів, зростання вартості ресурсів, проблем із доступом до полів та обмеження експорту відбулося різке зменшення виробничих показників. Зібрана площа кукурудзи скоротилася до 4124,5 тис. га, а валовий збір — до 26186,9 тис. т. Порівняно з 2021 роком це означало зменшення зібраної площі приблизно на 24,8 %, а валового збору — приблизно на 37,8 %. Така різниця свідчить, що спад виробництва був пов'язаний не лише зі скороченням площ, а й зі складнішими умовами вирощування, збирання, сушіння та реалізації зерна [1].



Рисунок 1.1 – Графік зібраних площ кукурудзи на зерно

У 2023 році виробництво кукурудзи частково відновилося. За наявними статистичними даними, зібрана площа становила 3975,2 тис. га, валовий збір — 31030,4 тис. т, а середня урожайність — 7,81 т/га. Попри менші площі порівняно з довоєнним періодом, урожайність була однією з найвищих за аналізований період. Це підтверджує, що потенціал культури залишається значним, а рівень виробництва кукурудзи в Україні значною мірою залежить від технологічного забезпечення, погодних умов та економічної доцільності вирощування [1].

У 2024 році ситуація з виробництвом кукурудзи знову погіршилася. Оперативні дані станом на кінець листопада 2024 року показували зібрану площу 3759,9 тис. га, валовий збір 24160,5 тис. т та середню урожайність 6,43 т/га. Порівняно з 2023 роком спостерігалось зниження як урожайності, так і валового збору. Основними причинами такого стану були несприятливі погодні умови, зокрема посушливі періоди в окремих регіонах, висока собівартість виробництва, зростання витрат на енергоносії та сушіння зерна, а також нестабільність ринку [1].

Важливим фактором, що впливає на сучасний стан виробництва кукурудзи, є зміна економічної привабливості культури. Після 2022 року виробники почали обережніше підходити до формування структури посівних площ. Кукурудза потребує значних витрат на насіння, добрива, засоби захисту рослин, паливо, збирання та післязбиральну доробку зерна. Особливо ваговою статтею витрат є сушіння, оскільки зерно кукурудзи часто збирається з підвищеною вологістю. За високих цін на енергоносії та нестабільної логістики це знижує рентабельність культури порівняно з деякими олійними культурами.



Рисунок 1.2 – Діаграма валового збору кукурудзи на зерно

Разом із тим кукурудза залишається стратегічною культурою для України. Вона має високу експортну орієнтацію, а обсяги її виробництва безпосередньо пов'язані з роботою морської логістики та доступом до зовнішніх ринків. За даними FAS USDA, у 2023/24 маркетинговому році експорт кукурудзи з України становив 28,6 млн т, що було пов'язано з відновленням роботи експортної інфраструктури, зокрема портів Одеського регіону. У 2024/25 маркетинговому році експортний потенціал був нижчим через менший урожай, а оцінка експорту кукурудзи становила близько 20,0 млн т [2].

У 2025 році міжнародні оцінки вказували на можливе відновлення виробництва кукурудзи порівняно з 2024 роком. За оцінкою FAO/GIEWS, виробництво кукурудзи в Україні у 2025 році могло становити близько 30,7 млн т, що на 14 % більше порівняно з попереднім роком. Водночас FAO зазначає, що аграрне виробництво в Україні продовжує обмежуватися воєнними факторами: ускладненим доступом до полів, дефіцитом робочої сили, високими виробничими витратами, мінною небезпекою та проблемами логістики [3].

Отже, сучасний стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні характеризується нестабільністю. З одного боку, культура має значний біологічний і виробничий потенціал, що підтверджується високими врожайми 2021 і 2023 років. З іншого боку, після 2022 року виробництво кукурудзи стало більш залежним від воєнних, економічних, логістичних і погодних чинників. Зменшення площ, коливання урожайності та зростання виробничих витрат зумовлюють потребу в удосконаленні технологій вирощування.

У таких умовах особливого значення набувають технології, спрямовані на зниження енерговитрат, збереження вологи, раціональне використання добрив і зменшення кількості проходів техніки по полю. Саме тому впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно є актуальним напрямом підвищення ефективності виробництва. Смуговий обробіток ґрунту дозволяє поєднати переваги традиційного обробітку в зоні рядка з елементами ресурсозбереження, що є важливим для сучасних умов аграрного виробництва України.

## **1.2. Біологічні особливості кукурудзи та агротехнічні вимоги до її вирощування**

Кукурудза належить до теплолюбних культур інтенсивного типу, тому її продуктивність значною мірою визначається поєднанням температурного режиму, вологозабезпечення, родючості ґрунту, строків сівби та якості виконання механізованих операцій. На відміну від культур, які краще переносять прохолодні умови на початку вегетації, кукурудза повільно розвивається за низької

температури ґрунту, а нерівномірні сходи можуть знижувати подальшу вирівняність посіву. Саме тому правильне формування насінневого ложа, стабільна глибина загортання насіння та достатнє прогрівання ґрунту мають важливе значення для одержання дружних сходів [4].

Мінімальна температура для початку проростання насіння кукурудзи становить близько 10 °С, однак оптимальні умови для швидкого проростання формуються за вищих температур. За прохолодного ґрунту насіння може поглинати воду, але розвиток корінця і проростка сповільнюється. У таких умовах збільшується ризик зрідження посівів, ураження насіння ґрунтовими патогенами та появи нерівномірних сходів. Тому практичне значення має не лише календарна дата сівби, а й фактичний стан ґрунту на глибині загортання насіння.

Для кукурудзи характерна висока потреба в теплі протягом усього періоду вегетації. Рослина проходить послідовні фази розвитку: проростання, сходи, вегетативний ріст, формування генеративних органів, цвітіння, налив зерна та досягання. На ранніх етапах головним завданням технології є створення умов для швидкого формування кореневої системи та листкового апарату. У подальшому врожайність значною мірою залежить від того, наскільки рослина забезпечена вологою і поживними речовинами в період інтенсивного росту, викидання волоті, цвітіння та формування зерна [6].

Кукурудза має потужну мичкувату кореневу систему, яка за сприятливих умов проникає на значну глибину і використовує вологу з нижчих шарів ґрунту. Однак це не означає, що культура є маловимогливою до водного режиму. Найбільш критичними щодо нестачі вологи є періоди перед цвітінням, під час цвітіння та на початку наливу зерна. Якщо у цей час рослини відчувають водний дефіцит, погіршується запилення, зменшується кількість зерен у качані та знижується маса зерна. Через це технологія вирощування кукурудзи повинна бути спрямована не лише на механічне розпушування ґрунту, а й на збереження продуктивної вологи.

До ґрунтових умов кукурудза також висуває підвищені вимоги. Найкраще вона реалізує потенціал урожайності на родючих, структурних, добре аерованих

грунтах із достатнім запасом доступних елементів живлення. Надмірне ущільнення ґрунту, утворення плужної підшви, погана водопроникність і нестача повітря в кореневмісному шарі обмежують розвиток кореневої системи. Це особливо небезпечно для кукурудзи, оскільки високий урожай зерна формується лише за умови активного поглинання води й елементів живлення протягом тривалого періоду вегетації.

Важливим елементом технології є густота стояння рослин. Надмірне загущення посіву посилює конкуренцію між рослинами за світло, воду та поживні речовини, а зріджений посів не забезпечує повного використання площі живлення. Оптимальна густота залежить від групи стиглості гібрида, рівня вологозабезпечення, родючості ґрунту та прийнятої системи удобрення. У зонах недостатнього зволоження густоту зазвичай зменшують, оскільки кожна рослина повинна мати більший об'єм ґрунту для використання вологи.

Система живлення кукурудзи повинна враховувати високу потребу культури в азоті, фосфорі та калії. Азот найбільше впливає на розвиток листового апарату та формування врожайності, фосфор потрібний для початкового розвитку кореневої системи й енергетичних процесів у рослині, а калій підвищує стійкість до стресових умов і бере участь у регулюванні водного режиму. Нерівномірне розміщення добрив або їх внесення без урахування потреб рослин може знижувати ефективність використання елементів живлення. Тому для кукурудзи перспективним є локальне внесення добрив у зону майбутнього рядка або поряд із ним.

Агротехнічні вимоги до вирощування кукурудзи на зерно передбачають якісну підготовку ґрунту, точну сівбу, рівномірне розміщення насіння, дотримання заданої глибини загортання, ефективний захист від бур'янів, шкідників і хвороб, а також своєчасне збирання врожаю. Особливу роль відіграє система обробітку ґрунту. Вона повинна забезпечувати накопичення й збереження вологи, усунення надмірного ущільнення, створення сприятливого фізичного стану посівного шару та зменшення непродуктивних витрат енергії.

З огляду на біологічні особливості кукурудзи, технологія Strip-Till має логічне агротехнічне обґрунтування. Культура потребує добре підготовленої зони рядка, але не обов'язково суцільного інтенсивного обробітку всієї поверхні поля. За смугового обробітку розпушується лише вузька смуга, у якій розміщуються насіння й добрива, тоді як міжряддя залишаються менш порушеними та частково вкритими рослинними рештками. Такий підхід може сприяти збереженню вологи, зменшенню ерозійних процесів, скороченню витрат пального та кращому використанню добрив у зоні розвитку кореневої системи.

Отже, кукурудза на зерно є культурою з високим потенціалом продуктивності, але для його реалізації необхідно забезпечити сприятливі умови на всіх етапах росту. Найважливішими вимогами є достатнє прогрівання ґрунту під час сівби, рівномірні сходи, оптимальна густота рослин, збалансоване мінеральне живлення, належний водний режим і якісний обробіток ґрунту. Ці особливості підтверджують доцільність застосування ресурсозберігаючих технологій, зокрема Strip-Till, які поєднують локальне розпушування ґрунту з можливістю раціонального внесення добрив.

### **1.3. Огляд технологій вирощування кукурудзи на зерно**

Технологія вирощування кукурудзи на зерно охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій, від якості яких залежить кінцевий рівень урожайності та виробничих витрат. До основних елементів технологічного процесу належать вибір попередника, основний і передпосівний обробіток ґрунту, внесення добрив, сівба, догляд за посівами, захист рослин, збирання врожаю та післязбиральна доробка зерна. Для агроінженерної оцінки особливе значення має не лише агрономічний результат, а й кількість проходів техніки, витрати пального, продуктивність агрегатів, навантаження на ґрунт і потреба в енергетичних засобах.

У практиці вирощування кукурудзи застосовують кілька основних технологічних підходів, які відрізняються насамперед способом обробітку ґрунту. Найпоширенішими є традиційна технологія з інтенсивним обробітком,

мінімальний або скорочений обробіток, нульовий обробіток No-Till та смуговий обробіток Strip-Till. Кожна із цих систем має свої переваги, обмеження та вимоги до технічного забезпечення.

Традиційна технологія вирощування кукурудзи передбачає суцільний механічний обробіток ґрунту. Зазвичай вона включає лущення стерні, оранку або



глибокий обробіток, весняне вирівнювання поверхні поля, передпосівну культивуацію, сівбу та подальші операції догляду за посівами. Її перевагою є створення пухкого орного шару, загортання рослинних решток і часткове знищення бур'янів механічним способом. Крім того, за такої технології легше підготувати вирівняне насіннєве ложе для сівалки точного висіву.

Рис.1.3 – Порівняння технологій No-Till (А) та Strip-Till (Б)

Водночас традиційна технологія має суттєві недоліки. Велика кількість проходів агрегатів підвищує витрати пального, збільшує затрати праці та прискорює зношування машин. Суцільне розпушування ґрунту порушує його природну структуру, може посилювати втрати вологи, а на схилових землях підвищує ризик водної та вітрової ерозії. Крім того, багаторазовий рух важкої техніки сприяє ущільненню нижчих шарів ґрунту, що негативно впливає на розвиток кореневої системи кукурудзи.

Мінімальний обробіток ґрунту є спробою зменшити енергетичні витрати без повної відмови від механічного впливу на ґрунт. За такої технології кількість операцій скорочують, а замість оранки часто використовують дискові, чизельні або комбіновані агрегати. Мінімальний обробіток дозволяє частково зберегти рослинні рештки на поверхні поля, зменшити витрати пального та прискорити підготовку площі до сівби. Такий підхід доцільний у господарствах, які прагнуть

знизити собівартість вирощування, але ще не готові перейти до повністю ґрунтозахисних технологій.

Недоліком мінімального обробітку є те, що його ефективність значною мірою залежить від типу ґрунту, вологості, кількості післяжнивних решток і якості роботи агрегатів. За неправильного підбору робочих органів можливе недостатнє розпушування посівного шару, нерівномірне перемішування решток або формування ущільнених горизонтів. Тому скорочення кількості операцій саме по собі не гарантує поліпшення технології, якщо воно не супроводжується точним налаштуванням машин і дотриманням агротехнічних строків.

Технологія No-Till базується на відмові від основного і передпосівного механічного обробітку. Сівба виконується безпосередньо в необроблений ґрунт, вкритий рослинними рештками попередньої культури. Такий спосіб дозволяє зменшити ерозію, краще зберігати ґрунтову вологу, скоротити витрати пального та зменшити кількість проходів техніки. Система No-Till найбільше відповідає принципам ґрунтозахисного землеробства, оскільки передбачає мінімальне механічне порушення ґрунту, збереження покриву з рослинних решток і використання сівоzmіни.

Разом із тим No-Till не можна розглядати як універсальну технологію для всіх умов. При вирощуванні кукурудзи можуть виникати труднощі з прогріванням ґрунту навесні, особливо на важких або надмірно зволжених ґрунтах. Велика кількість рослинних решток у зоні рядка ускладнює рівномірне загортання насіння та отримання дружних сходів. Також зростає роль хімічного контролю бур'янів, якісної роботи сівалки, правильного вибору попередника та точного управління поживним режимом. Тому перехід на No-Till потребує не лише іншої техніки, а й вищого рівня технологічної дисципліни.

Смуговий обробіток Strip-Till займає проміжне місце між традиційною технологією та No-Till. Його суть полягає в тому, що обробляється не вся площа поля, а лише вузькі смуги, у які надалі висівають кукурудзу. Міжряддя при цьому залишаються необробленими або мінімально порушеними, а рослинні рештки на поверхні ґрунту зберігають захисну роль. У межах обробленої смуги

створюються кращі умови для прогрівання ґрунту, розвитку кореневої системи та розміщення добрив.

Перевагою Strip-Till є поєднання локального розпушування з ресурсозбереженням. Для кукурудзи це особливо важливо, оскільки культура потребує добре підготовленої зони рядка, але не завжди вимагає суцільного обробітку всієї площі поля. Смуговий обробіток дає можливість зменшити витрати пального, скоротити кількість технологічних проходів, зберегти більше вологи в міжряддях і локально внести мінеральні добрива ближче до зони розвитку кореневої системи. Саме тому ця технологія є перспективною для господарств, які вирощують кукурудзу на зерно в умовах зростання вартості енергоносіїв і нестабільного вологозабезпечення.

Водночас Strip-Till має певні технічні та організаційні вимоги. Для його ефективного застосування потрібні спеціалізовані агрегати, точне ведення машинно-тракторного агрегату, узгодження ширини міжрядь Strip-Till-агрегату і сівалки, а також якісне налаштування робочих органів. Важливим є дотримання прямолінійності проходів, оскільки під час сівби насіння повинно потрапляти саме в підготовлену смугу. Через це технологія часто потребує використання навігаційних систем і достатньо високої культури експлуатації техніки.

Таким чином, технології вирощування кукурудзи на зерно можна розглядати як послідовний перехід від енергоємного суцільного обробітку до більш ресурсозберігаючих систем. Традиційна технологія забезпечує надійну підготовку поля, але потребує значних витрат пального й праці. Мінімальний обробіток зменшує кількість операцій, проте вимагає правильного вибору агрегатів. No-Till максимально зберігає ґрунт від механічного впливу, але має підвищені вимоги до сівби, захисту рослин і управління рештками. Strip-Till є найбільш компромісним варіантом для кукурудзи, оскільки дозволяє підготувати саме зону рядка, залишаючи міжряддя менш порушеними. Це створює підстави для подальшого аналізу ефективності впровадження Strip-Till у технології вирощування кукурудзи на зерно.

#### 1.4. Обґрунтування теми дипломного проєкту

Аналіз сучасного стану виробництва кукурудзи на зерно показує, що ця культура залишається важливою для аграрного сектору України, проте умови її вирощування стали складнішими. На результат виробництва впливають не лише погодні чинники, а й вартість пального, добрив, насіння, засобів захисту рослин, технічного обслуговування машин і післязбиральної доробки зерна. Через це для господарств дедалі більшого значення набувають технології, які дають можливість знизити витрати без істотного погіршення агротехнічних умов для росту рослин.

Кукурудза на зерно належить до культур, які потребують якісної підготовки ґрунту в зоні розміщення насіння. Для одержання рівномірних сходів необхідно забезпечити нормальний контакт насіння з ґрунтом, достатнє прогрівання посівного шару, стабільну глибину загортання та доступ рослин до вологи й елементів живлення. Водночас суцільний інтенсивний обробіток усього поля не завжди є раціональним, оскільки він потребує значних енергетичних витрат і може посилювати втрати ґрунтової вологи.

Традиційна система вирощування кукурудзи зазвичай передбачає кілька окремих операцій обробітку ґрунту. Кожний додатковий прохід машинно-тракторного агрегату збільшує витрати пального, витрати робочого часу, зношування техніки та ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів і агрегатів. У період зростання цін на енергоносії така технологічна схема стає менш вигідною, особливо для господарств із великими площами посіву кукурудзи.

Одним із шляхів зменшення енергоємності вирощування є застосування смугового обробітку ґрунту Strip-Till. Суть цієї технології полягає в тому, що обробляється не вся поверхня поля, а лише окремі смуги, у які надалі висівається культура. Міжряддя при цьому залишаються менш порушеними, а рослинні рештки на поверхні ґрунту виконують захисну роль. Такий підхід дозволяє поєднати підготовку зони майбутнього рядка з елементами ресурсозберігаючого землеробства.

Для кукурудзи Strip-Till має практичне значення, оскільки ця культура потребує добре сформованої зони рядка, але не обов'язково вимагає суцільного розпушування всієї площі поля. Оброблена смуга створює кращі умови для розміщення насіння, розвитку первинної кореневої системи та внесення добрив. Водночас необроблені міжряддя сприяють збереженню рослинних решток, зменшенню руйнування структури ґрунту та зниженню ризику ерозійних процесів.

Важливою перевагою технології Strip-Till є можливість локального внесення мінеральних добрив. У цьому випадку добрива розміщуються не рівномірно по всій площі, а ближче до зони майбутнього розвитку кореневої системи. Це особливо важливо для кукурудзи на початкових етапах росту, коли рослина повинна швидко сформувати кореневу систему та листковий апарат. Локальне розміщення поживних речовин може підвищити ефективність їх використання та зменшити непродуктивні втрати.

З агроінженерної точки зору тема є актуальною тому, що Strip-Till вимагає не лише агрономічного обґрунтування, а й правильного технічного забезпечення. Ефективність технології залежить від конструкції агрегату, типу робочих органів, глибини обробітку, ширини смуги, якості очищення рядка, тягового опору, продуктивності машинно-тракторного агрегату та точності подальшої сівби.

Особливу увагу в дипломному проєкті доцільно приділити робочій секції Strip-Till-агрегату, оскільки саме вона формує оброблену смугу. Робочі органи повинні розрізати або відсунути рослинні рештки, розпушити ґрунт на задану глибину, забезпечити можливість внесення добрив і сформувати придатне для сівби насіннєве ложе. Недостатня якість роботи секції може призвести до нерівномірної глибини обробітку, забивання рослинними рештками, підвищеного тягового опору або погіршення умов для сівби.

Разом з перевагами технологія Strip-Till має певні обмеження. Її ефективність залежить від типу ґрунту, кількості післяжнивних решток, вологості поля, забезпеченості господарства відповідною технікою та точності виконання операцій. Для успішного використання смугового обробітку

необхідно узгодити ширину міжрядь агрегату і сівалки, забезпечити прямолінійність проходів та дотримання заданої траєкторії руху. Тому технологія потребує високої культури експлуатації машин і чіткої організації польових робіт.

Вибір теми дипломного проєкту обумовлений необхідністю підвищення ефективності вирощування кукурудзи на зерно шляхом зменшення енергоємності технологічного процесу, раціонального використання вологи, скорочення кількості проходів техніки та поліпшення умов живлення рослин. Технологія Strip-Till дає можливість вирішувати ці завдання комплексно, оскільки поєднує локальний обробіток ґрунту, збереження міжрядь і можливість внесення добрив у зону рядка.

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ STRIP-TILL

### 2.1. Вихідні дані для розробки технологічної карти

Розробка технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till виконується з метою визначення складу механізованих робіт, строків їх проведення, обсягів робіт, потреби в машинно-тракторних агрегатах, витрат палива та затрат праці. Технологічна карта є основою для подальшого обґрунтування ефективності запропонованої технології, оскільки дозволяє оцінити не лише агротехнічну доцільність окремих операцій, а й їх техніко-експлуатаційні показники.

При проектуванні механізованого вирощування сільськогосподарських культур необхідно враховувати склад машинно-тракторних агрегатів, експлуатаційні показники їх роботи, строки виконання операцій, витрати пального та потребу в робочій силі [8]. Тому при розробці технологічної карти для кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till вихідні дані приймаються з урахуванням площі посіву, планової урожайності, норм внесення матеріалів і календарних строків виконання основних польових робіт.

Для розрахунку приймається вирощування кукурудзи на зерно на площі 300 га. Попередником є зернові культури. Такий попередник дає можливість своєчасно виконати післязбиральну підготовку поля, подрібнити та рівномірно розподілити рослинні рештки, а також провести осінній смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив.

Тип ґрунту приймається – II, група господарства – III. Планова урожайність зерна кукурудзи становить 8,3 т/га. За такої урожайності валовий збір зерна з площі 300 га становитиме:

$$Q_3 = F \cdot Y, \quad (2.1)$$

де  $Q_3$  – валовий збір зерна, т;

$F$  – площа посіву, приймаємо 300 га;

$У$  – урожайність зерна, приймаємо середнє значення за умови достатнього зрошення – 8,3 т/га.

$$Q_3 = 300 \cdot 8,3 = 2490 \text{ т.}$$

Отже, при урожайності 8,3 т/га з площі 300 га передбачається одержати 2490 т зерна кукурудзи.

Основною відмінністю проектної технології є застосування смугового обробітку ґрунту Strip-Till. За цієї технологією не передбачається суцільна оранка, закриття вологи боронуванням і передпосівна культивация. Замість них виконується смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив. Це дозволяє підготувати зону майбутнього рядка кукурудзи, залишаючи міжряддя менш порушеними.

Глибина смугового обробітку ґрунту приймається 25–30 см. Ширина міжрядь при сівбі кукурудзи – 70 см. Глибина загортання насіння – 5–8 см. Сівбу передбачається виконувати по попередньо підготовлених смугах, що вимагає точного суміщення проходів Strip-Till-агрегату та посівного агрегату.

Норма локального внесення мінеральних добрив під час смугового обробітку приймається 0,15 т/га. Загальна потреба азотних добрив для цієї операції становить:

$$Q_d = F \cdot H_d, \quad (2.2)$$

де  $Q_d$  – загальна потреба добрив, т;

$F$  – площа внесення, га;

$H_d$  – норма внесення добрив;

Норма висіву насіння кукурудзи приймається 0,02 т/га. Загальна потреба насіння становитиме:

$$Q_n = F \cdot H_n \quad (2.3)$$

$Q_n$  – потреба насіння, т;

$H_n$  – норма висіву, т/га.

$$Q_n = 300 \cdot 0,02 = 6 \text{ т.}$$

Для хімічного захисту посівів передбачено внесення ґрунтового та страхового гербіцидів. Норма робочої рідини для одного обприскування

приймається 0,15 т/га. Тоді потреба води з препаратом для одного внесення становитиме:

$$Q_p = F \cdot H_p \quad (2.4)$$

де  $Q_p$  – потреба робочої рідини, т;

$H_p$  – норма робочої рідини, т/га.

$$Q_p = 300 \cdot 0,15 = 45 \text{ т}$$

Оскільки технологією передбачено два гербіцидні обробітки, для кожної операції перевезення води і препарату приймається обсяг 45,0 т. У технологічній карті ці операції враховуються окремими рядками.

Для підживлення посівів кукурудзи азотними добривами приймається норма 0,10 т/га. Загальна потреба азотних добрив для підживлення становить:

$$Q_a = 300 \cdot 0,1 = 30 \text{ т}$$

Строки виконання основних робіт прийнято з урахуванням технологічних карт вирощування кукурудзи, наведених в альбомі технологічних карт. Для проєктної технології Strip-Till приймається осінній смуговий обробіток у період 25.09–15.10. Сівбу кукурудзи передбачено виконати у квітні, гербіцидний захист – у квітні–червні, а збирання зерна – у вересні–жовтні.

Вихідні дані для розробки технологічної карти наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розробки технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till

| Показник                        | Значення           |
|---------------------------------|--------------------|
| Культура                        | Кукурудза на зерно |
| Технологія вирощування          | Strip-Till         |
| Попередник                      | Зернові культури   |
| Площа посіву, га                | 300                |
| Тип ґрунту                      | II                 |
| Група господарства              | III                |
| Планова урожайність зерна, т/га | 8,3                |

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Валовий збір зерна, т                               | 2490  |
| Ширина міжрядь, см                                  | 70    |
| Глибина смугового обробітку, см                     | 25–30 |
| Глибина загортання насіння, см                      | 5–8   |
| Норма локального внесення мінеральних добрив, т/га  | 0,10  |
| Загальна потреба мінеральних добрив, т              | 30,0  |
| Норма висіву насіння, т/га                          | 0,02  |
| Загальна потреба насіння, т                         | 6,0   |
| Норма робочої рідини для одного обприскування, т/га | 0,15  |
| Потреба робочої рідини на одне обприскування, т     | 45,0  |
| Норма азотних добрив для підживлення, т/га          | 0,10  |
| Загальна потреба азотних добрив, т                  | 30,0  |
| Відстань перевезення матеріалів і зерна, км         | 5     |

Таким чином, прийняті вихідні дані дозволяють розробити технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till, визначити обсяги механізованих робіт і надалі виконати розрахунок основних техніко-експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів.

## **2.2. Обґрунтування складу технологічних операцій за технологією Strip-Till**

Технологія Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно передбачає зміну традиційної системи підготовки ґрунту. Якщо за базової технології основний обробіток може включати лушення, оранку, закриття вологи та передпосівну культивуацію, то за Strip-Till ці операції замінюються смуговим обробітком ґрунту. Обробляється не вся поверхня поля, а лише смуга, у якій надалі висівається кукурудза. Міжряддя залишаються менш порушеними, що сприяє збереженню рослинних решток на поверхні ґрунту та зменшенню кількості проходів техніки.

Склад операцій технологічної карти сформовано з урахуванням послідовності вирощування кукурудзи на зерно: підготовка поля після попередника, основна технологічна операція Strip-Till, підготовка насіння, сівба, хімічний захист посівів, підживлення, збирання врожаю та перевезення зерна. Такий порядок відповідає загальній логіці побудови технологічних карт, у яких для кожної операції визначають агротехнічні вимоги, обсяг робіт, строки виконання, склад агрегату, виробіток, витрати палива та затрати праці.

Першою операцією прийнято подрібнення та рівномірний розподіл рослинних решток попередника. Оскільки попередником є зернові культури, після їх збирання на полі залишаються стерня та солома. Для якісної роботи Strip-Till-агрегату рослинні рештки не повинні утворювати валків або скупчень у зоні майбутнього рядка. Нерівномірний розподіл решток може погіршувати рух робочих органів, забивати секції агрегату та ускладнювати формування обробленої смуги.

Другою і третьою операціями є навантаження та перевезення мінеральних добрив. Їх виділено окремо, оскільки добрива необхідно доставити до поля до початку роботи Strip-Till-агрегату. Обсяг цих операцій становить 45,0 т, що відповідає нормі локального внесення 0,15 т/га на площі 300 га. Окремої операції «внесення мінеральних добрив» у технологічній карті не передбачено, тому що добрива вносяться одночасно зі смуговим обробітком ґрунту.

Основною операцією проєктної технології є смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив. Ця операція замінює суцільний основний і передпосівний обробіток. Під час її виконання робоча секція агрегату формує оброблену смугу глибиною 25–30 см, у яку надалі буде висіяно кукурудзу. Одночасне локальне внесення добрив дозволяє розмістити елементи живлення ближче до зони розвитку кореневої системи. Це особливо важливо для кукурудзи, оскільки на початкових фазах росту рослина потребує доступних поживних речовин у зоні рядка.

Після виконання Strip-Till проводять підготовку насіння. До складу технологічної карти включено протруювання, навантаження та перевезення

насіння до поля. Протруювання насіння необхідне для захисту проростків від хвороб і шкідників на початковому етапі розвитку. Норма висіву прийнята 0,02 т/га, тому для площі 300 га загальна потреба насіння становить 6,0 т. Цей обсяг враховується в операціях протруювання, навантаження та перевезення.

Сівба кукурудзи виконується по попередньо підготовлених смугах Strip-Till. Для цієї операції прийнято глибину загортання насіння 5–8 см і ширину міжрядь 70 см. Основною вимогою є розміщення насіння в центрі обробленої смуги. Якщо посівний агрегат відхиляється від смуги, погіршуються умови проростання насіння, оскільки частина рядка може потрапити в необроблений ґрунт. Тому для технології Strip-Till важливе точне водіння агрегатів і узгодження ширини захвату Strip-Till-агрегату та сівалки.

До складу карти включено дві групи операцій хімічного захисту: внесення ґрунтового гербіциду та внесення страхового гербіциду. Перед кожним обприскуванням передбачено перевезення води і препарату до поля. Норма робочої рідини прийнята 0,15 т/га, тому для одного обприскування на площі 300 га необхідно 45,0 т робочої рідини. Ґрунтовий гербіцид застосовується для контролю бур'янів на початковому етапі, а страховий гербіцид — по вегетації, залежно від фази розвитку кукурудзи та забур'яненості посівів.

Окремою групою операцій є підживлення посівів азотними добривами. У технологічній карті передбачено навантаження азотних добрив, їх перевезення до поля та внесення. Норма підживлення прийнята 0,10 т/га, що для площі 300 га становить 30,0 т. Підживлення спрямоване на забезпечення рослин азотом у період активного росту, коли кукурудза формує листову поверхню та майбутній урожай.

Завершальними операціями технологічної карти є збирання кукурудзи на зерно, збір зерна від комбайнів і перевезення зерна на тік. Планова урожайність прийнята 8,3 т/га, тому очікуваний валовий збір з площі 300 га становить 2490 т. Збирання виконується зернозбиральним комбайном із кукурудзяною жаткою. Операція збору зерна від комбайнів потрібна для безперервної роботи збирального комплексу, оскільки зерно необхідно своєчасно приймати від

комбайна та передавати на транспортні засоби. Перевезення зерна на тік завершує польовий етап технологічного процесу.

Таким чином, технологічна карта за Strip-Till включає операції, необхідні для повного циклу вирощування кукурудзи на зерно. Її особливістю є вилучення оранки, суцільного боронування та передпосівної культивуації. Центральною операцією є смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив, який забезпечує підготовку зони рядка та одночасно зменшує кількість проходів техніки по полю.

### **2.3. Підбір техніки та методика визначення техніко-експлуатаційних показників агрегатів**

Для заповнення технологічної карти необхідно підібрати склад агрегатів для кожної операції та визначити основні техніко-експлуатаційні показники їх роботи. До таких показників належать виробіток за годину, виробіток за зміну, виробіток за добу, потреба в агрегатах, кількість трактористів і допоміжних працівників, витрати палива, затрати праці та кількість нормо-змін.

Згідно з методикою складання технологічних карт, показники карти поділяють на три групи: найменування операцій, агротехнічні вимоги, обсяг і строки виконання робіт; витрата палива, кількість персоналу та потреба в агрегатах; затрати праці, прямі експлуатаційні витрати та інші техніко-економічні показники. Тому в технологічній карті вирощування кукурудзи за технологією Strip-Till необхідно не тільки вказати перелік операцій, а й обґрунтувати склад машинно-тракторних агрегатів для їх виконання.

Склад машинно-тракторного агрегату підбирають за типовими нормами виробітку і витрати палива або шляхом самостійних розрахунків комплектування агрегатів. При цьому враховують відповідність трактора сільськогосподарській машині за потужністю, шириною захвату, продуктивністю, рядністю та технологічною сумісністю у виробничому процесі. Особливо це важливо для

технології Strip-Till, оскільки ширина захвату смугового агрегату і сівалки повинна бути узгодженою.

Для визначення продуктивності польових машинно-тракторних агрегатів використовується залежність:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (2.5)$$

$W_{\text{год}}$  – виробіток агрегату за годину змінного часу, га/год;

$B_p$  – робоча ширина захвату агрегату, м;

$V_p$  – робоча швидкість руху агрегату, км/год;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

У методичних рекомендаціях продуктивність агрегату визначають із урахуванням робочої ширини захвату, робочої швидкості, тривалості зміни та коефіцієнта використання часу зміни. Там же наведено формулу для визначення робочої швидкості з урахуванням радіуса кочення колеса, частоти обертання колінчастого вала, передаточного числа трансмісії та буксування рушіїв.

Виробіток агрегату за зміну визначають за формулою:

$$W_{\text{зм}} = W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зм}} \quad (2.6)$$

де  $W_{\text{зм}}$  – виробіток агрегату за зміну, га/зм;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год.

Виробіток за добу визначають за формулою:

$$W_{\text{доб}} = W_{\text{зм}} \cdot T_{\text{доб}} \quad (2.7)$$

де  $W_{\text{доб}}$  – виробіток агрегату за добу, га/доб або т/доб;

$T_{\text{доб}}$  – тривалість роботи агрегату за добу, год.

У технологічній карті прийнято тривалість роботи за добу залежно від характеру операції: для основних польових робіт – 14 год, для обприскування – 12 год, для збирально-транспортних робіт – 14 год.

Кількість агрегатів, необхідних для виконання певної операції в заданий агротехнічний строк, визначають за формулою:

$$n = \frac{Q}{(W_{\text{доб}} \cdot D)} \quad (2.8)$$

де  $n$  – потрібна кількість агрегатів, од.;

$Q$  – обсяг роботи, га або т;

$W_{\text{доб}}$  – добовий виробіток одного агрегату;

$D$  – агротехнічна тривалість виконання операції, діб.

Норми виробітку для навантажувачів і транспортних засобів, які обслуговують основні агрегати, встановлюють за продуктивністю основного агрегату. Це важливо для операцій навантаження добрив, підвезення насіння, води, гербіцидів і збору зерна від комбайнів.

Кількість трактористів-машиністів приймають відповідно до кількості основних агрегатів. Кількість допоміжних працівників встановлюють залежно від виду операції. Для навантаження добрив, насіння, протруювання та обслуговування збирально-транспортного комплексу передбачають участь допоміжного персоналу.

Кількість нормо-змін визначають за формулою:

$$N_{\text{зм}} = \frac{Q}{W_{\text{зм}}} \quad (2.9)$$

де  $N_{\text{зм}}$  – кількість нормо-змін;

$Q$  – обсяг роботи;

$W_{\text{зм}}$  – виробіток за зміну.

Витрати палива на одиницю роботи визначають за типовими нормами або за розрахунковою методикою. Для польових агрегатів питому витрату палива можна визначати за залежністю:

$$g_{\text{га}} = \frac{(G_p \cdot T_p + G_{\text{пов}} \cdot T_{\text{пов}} + G_{\text{пер}} \cdot T_{\text{пер}} + G_o \cdot T_o)}{W_{\text{зм}}} \quad (2.10)$$

де  $g_{\text{га}}$  – питома витрата палива, кг/га;

$G_p$  – витрата палива під навантаженням, кг/год;

$G_{\text{пов}}$  – витрата палива під час поворотів, кг/год;

$G_{\text{пер}}$  – витрата палива на переїздах, кг/год;

$G_o$  – витрата палива на зупинках із працюючим двигуном, кг/год;

$T_p, T_{\text{пов}}, T_{\text{пер}}, T_o$  – відповідно тривалість роботи, поворотів, переїздів і зупинок, год;

$W_{зм}$  – змінний виробіток агрегату.

Коефіцієнт використання часу зміни визначають за формулою:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{зм}} \quad (2.11)$$

$T_p$  – робочий час зміни, год;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, год

Загальні витрати палива на весь обсяг роботи визначають за формулою:

$$G_{заг} = q \cdot Q \quad (2.12)$$

$G_{заг}$  – витрати палива на весь обсяг роботи, кг;

$q$  – норма витрати палива на одиницю роботи, кг/га або кг/т;

$Q$  – обсяг роботи, га або т.

Затрати праці на весь обсяг роботи визначають за формулою:

$$З_{п} = t \cdot Q, \quad (2.13)$$

де  $З_{п}$  – загальні затрати праці, люд-год;

$t$  – затрати праці на одиницю роботи, люд-год/га або люд.-год/т;

Для транспортних операцій застосовують окрему методику. У методичних рекомендаціях зазначено, що для перевезення сільськогосподарських вантажів використовують бортові автомобілі, самоскиди та тракторно-транспортні агрегати з одним або кількома причепами. Вибір транспортного засобу здійснюють за його продуктивністю з урахуванням виду вантажу, відстані перевезення, вантажопідйомності, місткості кузова, стану доріг і технічної швидкості руху.

Коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу визначають за формулою:

$$\gamma_{ст} = (F_{п} \cdot h \cdot \rho_{в}) \quad (2.14)$$

де  $\gamma_{ст}$  – статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$F_{п}$  – площа вантажної платформи, м<sup>2</sup>;

$h$  – висота укладання вантажу в кузові, м;

$\rho_{в}$  – об'ємна маса вантажу, т/м<sup>3</sup>;

Середню технічну швидкість транспортного засобу визначають за формулою:

$$y_T = \frac{(2 \cdot y_{зв} \cdot y_{бв})}{(y_{зв} + y_{бв})}, \quad (2.15)$$

де  $y_T$  – середня технічна швидкість руху транспортного засобу, км/год;

$y_{зв}$  – технічна швидкість руху з вантажем, км/год;

$y_{бв}$  – технічна швидкість руху без вантажу, км/год.

Якщо транспортний засіб рухається дорогами різного стану, середню технічну швидкість визначають за формулою:

$$y_M = \sum l_i / \sum \frac{l_i}{y_i} \quad (2.16)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки маршруту, км;

$y_i$  – швидкість руху на  $i$ -й ділянці, км/год.

Коефіцієнт використання пробігу визначають за формулою:

$$\beta = \frac{l_B}{l_{заг}}, \quad (2.17)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт використання пробігу;

$l_B$  – пробіг із вантажем, км;

$l_{заг}$  – загальний пробіг транспортного засобу за рейс, км.

У методичних рекомендаціях для автомобілів-самоскидів і цистерн наведено орієнтовне значення  $\beta = 0,45$ , а для інших автомобілів  $\beta = 0,50$ .

Годинну продуктивність транспортного засобу визначають за формулою:

$$W_T = \frac{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot v_T}{L + t \cdot v_T \cdot \beta} \quad (2.18)$$

де  $W_T$  – годинна продуктивність транспортного засобу, т/год;

$q$  – номінальна вантажопідйомність, т;

$\gamma$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$\beta$  – коефіцієнт використання пробігу;

$v_T$  – середня технічна швидкість, км/год;

$L$  – середня відстань перевезення, км;

$t$  – час навантаження і розвантаження за один рейс, год.

Ця формула використовується для підбору автомобільних і тракторних транспортних засобів під час перевезення добрив, насіння, води з препаратами та зерна. У методичних рекомендаціях вона наведена для визначення годинної продуктивності автомобільного потяга під час транспортування зерна.

Для автотранспорту загальну норму витрати палива визначають з урахуванням пробігу та транспортної роботи. Для базових автомобілів застосовується формула:

$$H_6 = \frac{g_L \cdot L}{100} + \frac{g_{T.KM} \cdot W}{100}, \quad (2.19)$$

де  $H_6$  – загальна норма витрати палива, л;

$g_L$  – лінійна норма витрати палива, л/100 км;

$L$  – пробіг автомобіля, км;

$g_{T.KM}$  – норма витрати палива на транспортну роботу, л/100 т·км;

$W$  – обсяг транспортної роботи, т·км.

Для автомобілів-самоскидів застосовується формула:

$$H_c = \frac{g_L \cdot L}{100 + g_i \cdot n_i} \quad (2.20)$$

де  $H_c$  – загальна норма витрати палива для самоскида, л;

$g_i$  – норма витрати палива на одну їзду в пунктах навантаження і розвантаження, л;

$n_i$  – кількість їздок.

Обсяг транспортної роботи визначають за формулою:

$$W = q \cdot \gamma_d \cdot \beta \cdot L, \quad (2.21)$$

де  $\gamma_d$  – динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Для збирально-транспортного процесу головною умовою є забезпечення роботи комбайнів без простоїв через відсутність транспортних засобів. У методичних рекомендаціях зазначено, що для цього можуть застосовуватися індивідуальні, групові та перевалочні схеми перевезення. Для кукурудзи доцільно застосувати перевалочну схему: комбайн – бункер-перевантажувач –

автомобільний потяг – тік. Така схема зменшує простої комбайна під час вивантаження зерна.

Для технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till приймається такий попередній склад агрегатів.

Таблиця 2.2 – Підбір техніки для виконання технологічних операцій

| №  | Операція                                                           | Склад агрегату                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1  | Подрібнення та рівномірний розподіл рослинних решток попередника   | MT3-892 + подрібнювач рослинних решток              |
| 2  | Навантаження мінеральних добрив                                    | Manitou MLT 735-120                                 |
| 3  | Перевезення мінеральних добрив                                     | КамАЗ-55102                                         |
| 4  | Смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив | Case Magnum 335 + Strip-Till-агрегат 8-рядний       |
| 5  | Протруювання насіння кукурудзи                                     | електродвигун + протруювач ПСК-7А                   |
| 6  | Навантаження насіння                                               | електродвигун + навантажувач НЗ-60                  |
| 7  | Перевезення насіння до поля                                        | КамАЗ-55102                                         |
| 8  | Сівба кукурудзи по смугах Strip-Till                               | Case Magnum 335 + сівалка точного висіву Kinze 3600 |
| 9  | Перевезення води і ґрунтового гербіциду                            | КамАЗ-5511 + бочка                                  |
| 10 | Внесення ґрунтового гербіциду                                      | Case Patriot 3330                                   |
| 11 | Перевезення води і страхового гербіциду                            | КамАЗ-5511 + бочка                                  |
| 12 | Внесення страхового гербіциду                                      | Case Patriot 3330                                   |
| 13 | Навантаження азотних добрив                                        | MT3-892 + КУН Tornado 1600                          |
| 14 | Перевезення азотних добрив до поля                                 | КамАЗ-55102                                         |
| 15 | Внесення азотних добрив                                            | MT3-892 + РМД-1200                                  |
| 16 | Збирання кукурудзи на зерно                                        | Case 8240 + кукурудзяна жатка 8-рядна               |
| 17 | Збір зерна від комбайнів                                           | John Deere 7930R + Kinze 850                        |
| 18 | Перевезення зерна кукурудзи на тік                                 | КамАЗ-45142 + ГКБ-8350                              |

Підібраний склад агрегатів відповідає послідовності технологічних операцій. Для основної операції Strip-Till прийнято потужний трактор Case Magnum 335 з 8-рядним смуговим агрегатом, що дозволяє виконувати глибокий смуговий обробіток на 25–30 см і локальне внесення добрив. Для сівби прийнято сівалку точного висіву Kinze 3600, яка повинна працювати з міжряддям 70 см і забезпечувати висів насіння по підготовлених смугах. Для операцій хімічного захисту використовується самохідний обприскувач Case Patriot 3330, що забезпечує високу продуктивність і рівномірне внесення робочої рідини.

Для транспортування добрив, насіння, води з препаратами та зерна використано автомобільні транспортні засоби. Для збору зерна від комбайнів прийнято тракторний потяг John Deere 7930R + Kinze 850, який виконує роль проміжної ланки між комбайном і автомобільним транспортом. Така схема дозволяє зменшити простої комбайна та забезпечити безперервність збирально-транспортного процесу.

Результати визначення виробітку, потреби в агрегатах, витрат палива, затрат праці та кількості нормо-змін за наведеними формулами заносяться до відповідних граф технологічної карти. Остаточні значення техніко-експлуатаційних показників наведено в технологічній карті вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till.

#### **2.4. Розробка технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till**

На основі прийнятих вихідних даних, обґрунтованого складу технологічних операцій та підібраних машинно-тракторних агрегатів розроблено технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till. Технологічна карта охоплює повний комплекс механізованих робіт: підготовку поля після попередника, навантаження і перевезення мінеральних добрив, смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням добрив, підготовку насіння,

сівбу, хімічний захист посівів, підживлення, збирання врожаю та транспортування зерна на тік.

Особливістю розробленої технологічної карти є те, що в ній не передбачаються оранка, суцільне боронування та передпосівна культивация. Ці операції замінено смуговим обробітком ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив. Такий підхід відповідає суті технології Strip-Till, за якої обробляється лише смуга майбутнього рядка, а міжряддя залишаються менш порушеними.

Площа вирощування кукурудзи на зерно становить 300 га. Планова врожайність прийнята 8,3 т/га, тому очікуваний валовий збір зерна становить 2490 т. Для основного локального внесення мінеральних добрив передбачено норму 0,15 т/га, що відповідає загальній потребі 45 т. Норма висіву насіння прийнята 0,02 т/га, тому загальна потреба насіння становить 6 т. Для одного гербіцидного обробітку передбачено 45 т робочої рідини.

Для виконання основної операції Strip-Till прийнято агрегат у складі трактора Case Magnum 335 та смугового агрегату Orthman 1tRIPr 8 Row. Сівба кукурудзи виконується агрегатом Case Magnum 335 з сівалкою точного висіву Kinze 3600. Для внесення гербіцидів використовується самохідний обприскувач Case Patriot 3330. Збирання кукурудзи на зерно передбачено комбайном Case 8240 з кукурудзяною жаткою Case IH 4408. Для збору зерна від комбайнів використовується тракторний потяг John Deere 7930R з перевантажувальним бункером Kinze 850, а перевезення зерна на тік виконується автомобільним потягом КамАЗ-45142 з причепом ГКБ-8350.

У технологічній карті для кожної операції визначено агротехнічні вимоги, одиниці виміру, обсяг роботи, календарні строки виконання, тривалість виконання, склад агрегату, виробіток за годину, зміну і добу, потребу в агрегатах та обслуговуючому персоналі, витрати палива, затрати праці й кількість нормозмін.

За результатами розрахунку загальні витрати палива на виконання всього комплексу механізованих робіт становлять 14016,8 кг. Загальні затрати праці

становлять 601,7 люд.-год, а сумарна кількість нормо-змін — 84,5. Найбільші витрати палива припадають на смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням добрив, збирання кукурудзи на зерно та перевезення зерна на тік. Це пояснюється високою енергоємністю глибокого смугового обробітку, значним обсягом збиральних робіт і великою масою зерна, яку необхідно транспортувати після збирання.

Розроблена технологічна карта наведена в додатках.

### **3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ РОБОЧОЇ СЕКЦІЇ STRIP-TILL-АГРЕГАТУ**

#### **3.1. Аналіз конструкцій серійних Strip-Till-агрегатів та патентних рішень для локального внесення добрив**

Технологія Strip-Till реалізується спеціалізованими агрегатами, які виконують обробіток лише вузької смуги майбутнього рядка. Робоча секція таких машин зазвичай складається з дискового ножа, очищувачів рослинних решток, розпушувальної стійки або ножа, пристрою для внесення добрив, ґрунтонапрямних дисків і прикочувальних котків. Конкретна будова секції залежить від виробника, умов роботи, глибини обробітку, виду добрив і призначення агрегату.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд агрегату Orthman 1tRIPr

Одним із поширених серійних рішень є агрегат Orthman 1tRIPr (рисунок 3.1). Його робочі секції встановлюються на паралелограмній підвісці, що дозволяє краще копіювати рельєф поля і підтримувати сталу глибину обробітку. У конструкції передбачено розпушування смуги та можливість розміщення

добрів у зоні майбутнього рядка. Перевагою такої системи є поєднання обробітку ґрунту й внесення добрив за один прохід. Недоліком для умов студентського конструктивного проектування є складність вузлів секції та наявність готових фірмових рішень, які важко істотно змінювати без ускладнення конструкції [9].

Іншим прикладом є KUHN Krause Gladiator 1210 (рисунок 3.2). Це причіпна Strip-Till-система, яка призначена для підготовки смуги, формування насіннєвого ложа та точного розміщення поживних речовин. У конструкції передбачаються варіанти роботи з сухими або рідкими добривами. Машина має регульовані робочі органи, що дозволяє адаптувати її до різних умов поля. Її перевагою є висока продуктивність і універсальність, однак така система є досить складною та дорогою, тому для дипломного проекту доцільно аналізувати не всю машину, а окремий вузол — пристрій локального внесення добрив [10].



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд агрегату KUHN Krause Gladiator 1210

Агрегат Dawn Pluribus (рисунок 3.3) також належить до серійних рішень для смугового обробітку. Його особливістю є модульна робоча секція, яка може працювати з дисковими робочими органами або ножем. Машина формує смугу для сівби з мінімальним порушенням міжрядь. Такий підхід важливий для умов з великою кількістю рослинних решток, оскільки дозволяє підготувати рядок і не обробляти всю площу поля. Разом з тим конструкція Pluribus більше орієнтована

на якісне формування смуги, тоді як питання простого регулювання точки подачі мінеральних добрив може потребувати окремого конструктивного рішення [11].



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд агрегат Dawn Pluribus

Yetter 2984 Maverick HR Plus є прикладом робочої секції, яка поєднує керування рослинними рештками, обробіток смуги, підготовку насіннєвого ложа та внесення поживних речовин. Цей агрегат може застосовуватися навесні або восени. Перевагою такої конструкції є комплексність виконання операцій за один прохід. Однак на практиці ефективність роботи подібної секції залежить від правильного розміщення добрив відносно майбутнього рядка, глибини ходу робочих органів і рівномірності подачі матеріалу.

Окремої уваги заслуговує SoilWarrior 4500 (рисунок 3.4), який позиціонується як система смугового обробітку та локального внесення добрив. Машина може оснащуватися системами для сухих, рідких, аміачних або комбінованих добрив, а кількість рядків може змінюватися залежно від комплектації. Це підтверджує, що сучасні Strip-Till-агрегати дедалі частіше розглядаються не тільки як ґрунтообробні машини, а як комплексні агрегати для формування смуги й керованого розміщення елементів живлення [13].

Аналіз серійних машин показує, що більшість сучасних Strip-Till-агрегатів мають спільну конструктивну ідею: підготувати смугу, зберегти міжряддя менш порушеними та розмістити добрива в зоні майбутнього розвитку кореневої

системи. Водночас серійні конструкції часто є технічно складними, дорогими та прив'язаними до конкретної фірмової комплектації. Для дипломного проєкту доцільно не копіювати повністю серійну машину, а запропонувати просте вдосконалення окремого вузла робочої секції.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд SoilWarrior 4500

Патентний аналіз показує, що питання смугового обробітку ґрунту, локального внесення добрив, очищення зони рядка та обмеження переміщення ґрунту є достатньо поширеними напрямками технічного вдосконалення. Відомі рішення можна умовно поділити на кілька груп: пристрої для підготовки смуги, аплікатори добрив з мінімальним порушенням ґрунту, системи очищення рядка від рослинних решток, вузли контролю глибини та комбіновані посівно-удобрювальні пристрої.

У патенті *US8359988B2 «Agricultural tillage device»* [14] розглянуто ґрунтообробний пристрій, призначений для роботи в межах обробленої смуги. Особливістю цього рішення є перемішування добрив, зокрема сухих, із ґрунтом у робочій зоні. Перевагою такого підходу є краще розміщення поживних речовин у межах смуги, де надалі розвивається коренева система рослин. Недоліком є складніша взаємодія робочих органів із ґрунтом, оскільки пристрій не лише

подає добрива, а й перемішує їх із ґрунтовою масою. Для даного дипломного проєкту це рішення є корисним як приклад поєднання обробітку ґрунту з внесенням добрив, однак воно є складнішим, ніж потрібне для студентського конструктивного вдосконалення.

У патенті *US9226437B2 «Fertilizer applicator with coulter for minimum soil displacement»* [15] запропоновано аплікатор добрив із дисковими робочими органами, який формує зону внесення з мінімальним переміщенням ґрунту. У конструкції використовуються хвилясті диски, що створюють щілину і сприяють внесенню добрива при обмеженому порушенні поверхні поля. Перевагою такого рішення є можливість роботи в умовах значної кількості рослинних решток і зменшення руйнування ґрунтового покриву. Недоліком є більша складність дискової системи та потреба в точному налаштуванні положення робочих органів.

Патент *US10729053B2 «Compact parallel arm row cleaner»* [16] стосується очищувача рядка, який видаляє рослинні рештки із зони майбутнього рядка з мінімальним обробітком верхнього шару ґрунту. Таке технічне рішення важливе для Strip-Till і No-Till-систем, оскільки наявність решток у зоні сівби може ускладнювати рівномірне загортання насіння та погіршувати контакт насіння з ґрунтом. Перевагою є компактність і можливість очищення вузької смуги без суцільного порушення міжрядь. Недоліком є те, що пристрій вирішує переважно проблему очищення рядка, але не забезпечує повноцінного локального внесення мінеральних добрив.

У патенті *US10182522B2 «Depth control of an agricultural fertilizer row unit»* [17] описано рядковий удобрювальний вузол із системою контролю глибини. Конструкція містить елементи підвіски, притискний пристрій, колесо, ножовий вузол і систему підтримання заданої глибини роботи. Перевагою цього рішення є можливість стабільнішого розміщення добрив на заданій глибині, що важливо при роботі на полях із нерівним рельєфом або змінним опором ґрунту. Недоліком є конструктивна складність, оскільки для реалізації такого рішення потрібні додаткові вузли підвіски й контролю положення робочого органа.

Патент *US7540245B1 «Strip till implement»* [18] описує пристрій для смугового обробітку, у якому робочий орган розміщується перед посівним або Strip-Till-вузлом і призначений для очищення смуги від рослинних решток із мінімальним переміщенням ґрунту. Це рішення підтверджує важливість попереднього очищення зони рядка, особливо при роботі по стерні або після культур із великою кількістю післяжнивних решток. Його перевагою є простота і ґрунтозахисна спрямованість, проте воно не вирішує питання точного розміщення добрив у смузі.

Також відомим є патент *USRE36243E «Coulter wheel assembly including applying dry or liquid fertilizer»* [19], у якому описано пристрій із фрезерованими або хвилястими дисковими ножами для підготовки насінневого ложа за один прохід і можливістю внесення сухих або рідких добрив. Таке рішення цікаве тим, що поєднує підготовку зони сівби і внесення поживних речовин. Водночас воно є складнішим за конструкцією, оскільки використовує дискові вузли та додаткові елементи для формування зони внесення.

Порівняння розглянутих патентних рішень показує, що більшість із них спрямовані на вирішення окремих задач: очищення рядка від решток, зменшення переміщення ґрунту, контроль глибини, локальне розміщення добрив або поєднання удобрення із сівбою. Проте значна частина таких конструкцій є досить складною для виготовлення й обслуговування в умовах звичайного господарства. Для дипломного проєкту доцільніше обрати простіше конструктивне рішення, яке можна встановити на робочу секцію Strip-Till-агрегату без істотної зміни її основної будови.

Отже, патентний аналіз підтверджує актуальність удосконалення вузлів локального внесення добрив у технології Strip-Till. Найбільш раціональним напрямом для подальшої розробки є створення простого регульованого пристрою, який забезпечуватиме подачу мінеральних добрив у задану зону обробленої смуги та не потребуватиме складної перебудови всієї робочої секції агрегату.

### 3.2. Будова та принцип роботи базової робочої секції Strip-Till-агрегату

Базова робоча секція Strip-Till-агрегату призначена для формування обробленої смуги ґрунту в зоні майбутнього рядка кукурудзи. На відміну від традиційного суцільного обробітку, така секція діє лише на частину площі поля, залишаючи міжряддя менш порушеними. Це дозволяє підготувати ґрунт безпосередньо в зоні сівби, зберегти рослинні рештки на поверхні міжрядь і зменшити загальну енергоємність технологічного процесу.

Як базову конструктивну схему для подальшого удосконалення приймаємо робочу секцію серійного Strip-Till-агрегату, що складається з послідовно розміщених робочих органів. До її складу входять кронштейн або паралелограмний механізм кріплення до рами, передній дисковий ніж, очищувачі рядка, розпушувальна стійка з долотом, тукопровід для подачі добрив, ґрунтонапрямні диски та прикочувальний коток. Така компоновка характерна для більшості сучасних агрегатів смугового обробітку.

Передній дисковий ніж установлюється в передній частині секції. Він розрізає рослинні рештки та верхній шар ґрунту по осі майбутньої смуги. Завдяки цьому зменшується накопичення соломи перед розпушувальною стійкою, поліпшується прохідність робочих органів і стабілізується напрямок руху секції. Особливо важливу роль дисковий ніж виконує при роботі після зернових культур, коли на поверхні поля залишається значна кількість стерні та подрібненої соломи.

Очищувачі рядка розміщуються позаду переднього дискового ножа. Їх призначення полягає у відсуванні рослинних решток із зони майбутнього рядка. Вони не повинні виконувати інтенсивне перемішування ґрунту, оскільки головне завдання полягає у звільненні вузької смуги від надлишкових решток. Чистіша зона рядка краще прогрівається навесні, а під час сівби забезпечується стабільніше розміщення насіння.

Основним ґрунтообробним елементом секції є розпушувальна стійка з долотом або наконечником. Вона заглиблюється в ґрунт на задану глибину і руйнує ущільнений шар у межах смуги. Для вирощування кукурудзи на зерно

глибина смугового обробітку приймається 25–30 см. Така глибина дозволяє створити розпушену зону для розвитку кореневої системи без суцільного перевертання всієї площі поля.

Позаду або поруч із розпушувальною стійкою розміщується тукопровід, через який мінеральні добрива подаються в оброблену смугу. У базовій конструкції він виконує функцію транспортування добрив від бункера або дозувального апарата до зони внесення. Проте в більшості простих схем положення нижньої частини тукопроводу регулюється обмежено, що ускладнює точне розміщення добрив за глибиною або зміщенням відносно осі майбутнього рядка.

Ґрунтонапрямні диски встановлюються після розпушувальної стійки. Вони повертають розпушений ґрунт у зону обробітку, обмежують його розкидання в міжряддя та формують необхідний профіль смуги. Від правильного регулювання цих дисків залежить ширина обробленої зони, рівність поверхні та якість підготовки смуги до сівби.

У задній частині секції встановлюється прикочувальний або формувальний коток. Він ущільнює верхню частину смуги, подрібнює грудки, вирівнює поверхню та частково стабілізує профіль обробленої зони. Надмірне ущільнення при цьому небажане, оскільки смуга повинна залишатися достатньо пухкою для розвитку кореневої системи кукурудзи. Тому притискне зусилля котка має регулюватися залежно від вологості та механічного складу ґрунту.

Принцип роботи базової секції полягає в послідовній дії робочих органів. Під час руху агрегату передній дисковий ніж розрізає рештки й поверхневий шар ґрунту. Очищувачі рядка відсувають рештки вбік від осі смуги. Далі розпушувальна стійка з долотом заглиблюється в ґрунт і руйнує ущільнений шар. Одночасно через тукопровід у розпушену зону подаються мінеральні добрива. Після цього ґрунтонапрямні диски повертають ґрунт у смугу, а прикочувальний коток остаточно формує її поверхню.

Для умов вирощування кукурудзи на зерно робоча секція повинна забезпечувати стабільну глибину смугового обробітку 25–30 см, ширину

обробленої смуги 15–25 см, міжряддя 70 см і можливість локального внесення мінеральних добрив. Добрива доцільно розмішувати в межах обробленої смуги, нижче глибини загортання насіння, щоб забезпечити доступність елементів живлення для кореневої системи та уникнути безпосереднього контакту концентрованих добрив із насінням.

Аналіз базової секції показує, що її основні робочі органи забезпечують якісне формування смуги, однак пристрій для внесення добрив може бути вдосконалений. Основним недоліком є обмежена можливість регулювання положення нижньої частини тукопроводу, через що важче точно задавати глибину та місце подачі добрив у ґрунт. Тому подальше удосконалення доцільно спрямувати на розробку простого регульованого пристрою для локального внесення мінеральних добрив, який можна встановити на стійку робочої секції без істотної зміни всієї конструкції агрегату.

### **3.3. Обґрунтування удосконалення пристрою для локального внесення мінеральних добрив**

У технології Strip-Till важливе значення має не лише якісне формування обробленої смуги, а й правильне розміщення мінеральних добрив у ґрунті. На відміну від суцільного внесення, локальне розміщення добрив дозволяє сконцентрувати поживні речовини в зоні майбутнього розвитку кореневої системи кукурудзи. Це особливо важливо на початкових етапах росту рослин, коли коренева система ще недостатньо розвинена і потребує доступного живлення в межах рядка.

У базовій робочій секції Strip-Till-агрегату основними елементами є передній дисковий ніж, розпушувальна стійка, ґрунтонапрямні диски та формувальний коток. Розпушувальна стійка виконує глибоке руйнування ущільненого шару ґрунту, а робочий ніж формує зону, у яку можуть подаватися мінеральні добрива. Однак у простих конструкціях секцій вузол подачі добрив

часто має обмежені можливості регулювання за положенням, а нижня частина тукопроводу не завжди забезпечує стабільне розміщення добрив у заданій зоні.

Недостатньо точне розміщення добрив може знижувати ефективність їх використання. Якщо добрива подаються надто близько до поверхні, частина поживних речовин може бути менш доступною для кореневої системи в посушливих умовах. Якщо добрива потрапляють надто близько до насіння, виникає ризик негативного впливу підвищеної концентрації солей на проростки. Якщо ж добрива зміщуються вбік від обробленої смуги, коренева система кукурудзи використовує їх менш ефективно. Тому для Strip-Till-технології доцільно забезпечити кероване внесення добрив у межах сформованої смуги.

Для усунення зазначених недоліків у дипломному проєкті пропонується вдосконалити нижню частину робочої секції шляхом застосування розпушувальної стійки з туковим ножом і регульованим вузлом його кріплення. Запропоноване рішення передбачає поділ робочого органа на верхню розпушувальну стійку та нижній туковий ніж, які з'єднуються між собою за допомогою адаптерних пластин. Така конструкція спрощує монтаж, ремонт і заміну зношуваних елементів, оскільки нижній туковий ніж можна демонтувати без заміни всієї стійки.

Основною конструктивною відмінністю запропонованого удосконалення є використання адаптерних пластин у місці з'єднання верхньої стійки та тукового ножа. Адаптерні пластини виконують функцію проміжного з'єднувального елемента, який забезпечує жорсткість кріплення та правильне взаємне положення деталей. Кріплення за допомогою болтових з'єднань дозволяє спростити складання вузла, а також забезпечити можливість заміни окремих деталей при зношуванні або пошкодженні.

Туковий ніж виконує дві основні функції. Перша полягає у формуванні нижньої частини щілини в розпушеній смузі, друга — у спрямованій подачі мінеральних добрив у зону внесення. Для цього в конструкції ножа передбачено тукопровід, через який добрива надходять до вихідної трубки і далі в ґрунт.

Вихідна частина тукопроводу розміщується за носком ножа, що дозволяє подавати добрива у вже сформовану щілину, не виносячи їх на поверхню.

Носок ножа є змінним зношуваним елементом, який безпосередньо взаємодіє з ґрунтом. Його доцільно виконувати з міцнішої сталі, оскільки саме ця деталь сприймає найбільше абразивне навантаження під час роботи. Змінність носка ножа підвищує ремонтпридатність конструкції: при зношуванні замінюється не весь туковий ніж, а лише його найбільш навантажена частина.

Запропоноване удосконалення не потребує зміни всієї робочої секції Strip-Till-агрегату. Воно стосується лише нижньої частини розпушувального робочого органа, тобто тієї зони, яка відповідає за формування щілини та локальне внесення добрив. Завдяки цьому конструкція залишається відносно простою, а її виготовлення можливе в умовах ремонтної майстерні господарства або навчальної майстерні.

Очікуваний технічний результат від застосування запропонованого пристрою полягає у підвищенні точності локального внесення мінеральних добрив, покращенні ремонтпридатності робочого органа та зменшенні витрат на відновлення зношуваних деталей. Крім того, розміщення добрив у межах обробленої смуги сприяє більш раціональному використанню поживних речовин рослинами кукурудзи.

Таким чином, удосконалення пристрою для локального внесення мінеральних добрив є доцільним, оскільки воно безпосередньо пов'язане з технологією Strip-Till і не потребує складної перебудови агрегату. Запропонована конструкція забезпечує поєднання глибокого смугового обробітку ґрунту з керованою подачею добрив у зону майбутнього розвитку кореневої системи кукурудзи.

### 3.4. Опис запропонованої конструкції розпушувальної стійки з туковим ножем

Запропонована конструкція призначена для виконання смугового обробітку ґрунту та локального внесення мінеральних добрив у зоні майбутнього рядка кукурудзи. Основним робочим органом є розпушувальна стійка з туковим ножем, яка встановлюється на робочу секцію Strip-Till-агрегату. Під час руху агрегату стійка розпушує ґрунт на задану глибину, а туковий ніж формує щілину та забезпечує подачу добрив у нижню частину обробленої смуги.

Загальний вигляд розпушувальної стійки наведено на рисунку 3.5.

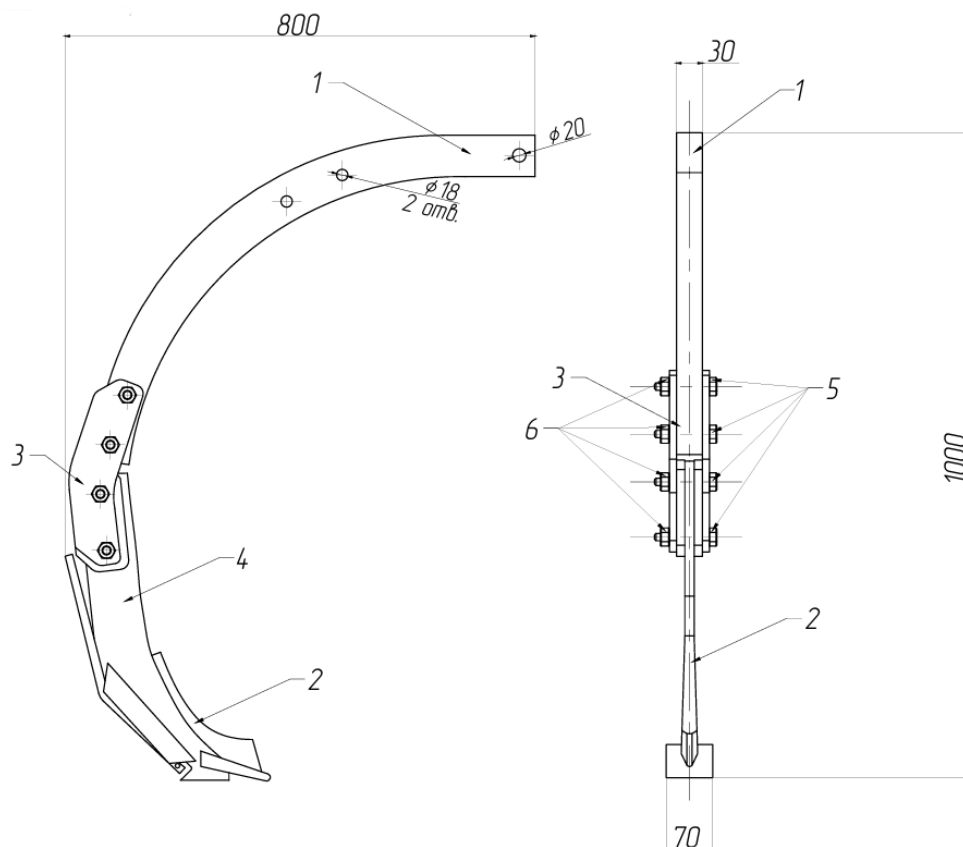


Рисунок 3.5 – Розпушувальна стійка: 1 – стійка верхня, 2 – туковий ніж; 3 – адаптерна пластина; 4 – стійка нижня; 5 – болти; 6 – гайки.

Розпушувальна стійка складається з верхньої стійки 1, тукового ножа 2, адаптерних пластин 3, нижньої стійки 4, болтів 5 та гайок 6. Така будова дає

можливість виконати робочий орган розбірним, що підвищує його ремонтпридатність. У разі зношування або пошкодження нижньої робочої частини можна замінити туковий ніж або окремі деталі вузла без виготовлення нової стійки повністю.

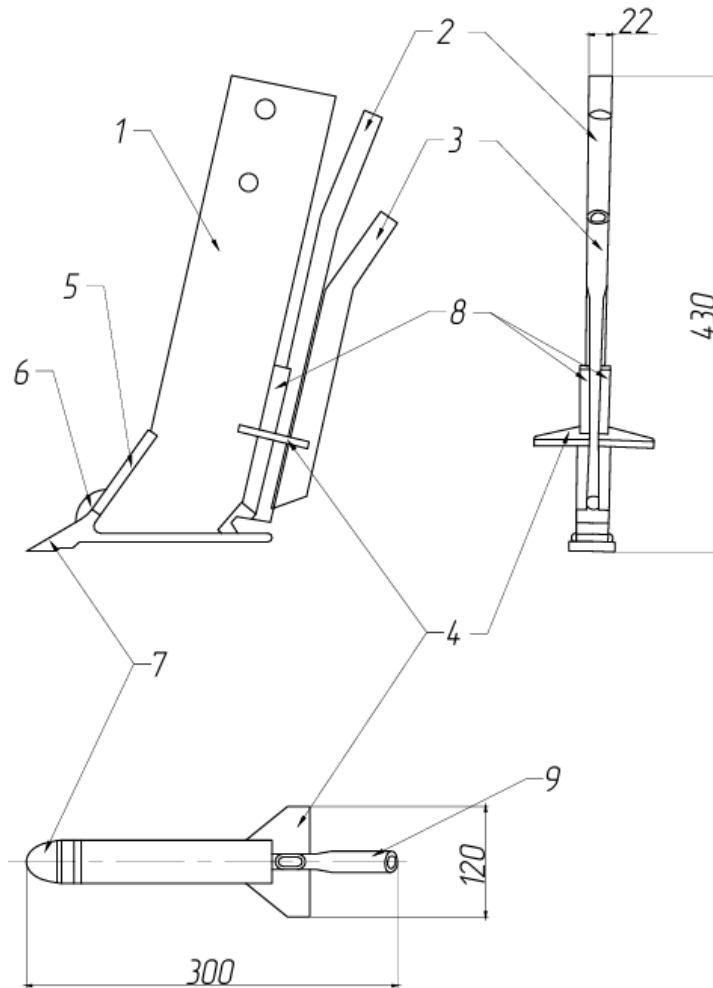


Рисунок 3.6 – Туковий ніж: 1 – передня різальна кромка; 2 – упор; 3 – трубка для рідких добрив; 4 – пластина; 5 – приймач для шланга; 6 – формуючий елемент; 7 – носок ножа; 8 – тукопровід; 9 – вихідна трубка тукопроводу

Верхня стійка 1 є несучою частиною конструкції. Вона має криволінійну форму, що забезпечує плавне входження робочого органа в ґрунт і зменшує накопичення рослинних решток перед стійкою. У верхній частині стійки передбачені отвори для встановлення на робочу секцію агрегату. Товщина верхньої стійки прийнята 30 мм, що забезпечує достатню міцність при роботі на глибині смугового обробітку.

Туковий ніж 2 є нижньою робочою частиною стійки. Він призначений для формування щілини в ґрунті та спрямованої подачі добрив у зону внесення. Ніж установлюється в нижній частині розпушувальної стійки та з'єднується з нею через адаптивні пластини 3. Таке з'єднання дозволяє зменшити навантаження на місце стику верхньої і нижньої частин робочого органа.

Адаптивні пластини 3 встановлюються з обох боків з'єднання. Вони виконують роль проміжних кріпильних елементів між верхньою стійкою, нижньою стійкою і туковим ножом. Використання двох пластин дозволяє підвищити жорсткість з'єднання та забезпечити симетричне передавання навантаження на болтові з'єднання. Кріплення виконується болтами М16 і гайками М16.

Нижня стійка 4 слугує перехідним елементом між верхньою частиною розпушувальної стійки та туковим ножом. Вона сприймає частину навантажень, що виникають під час заглиблення робочого органа в ґрунт, і забезпечує правильне положення тукового ножа відносно осі руху агрегату. Завдяки цьому туковий ніж працює стабільніше і не зміщується під дією бокових сил.

Габаритні розміри розпушувальної стійки прийнято такими: загальна висота – 1000 мм, довжина у боковому вигляді – 800 мм, ширина нижньої робочої частини – 70 мм. Такі розміри забезпечують можливість роботи на глибині 25–30 см, що відповідає прийнятим агротехнічним вимогам до смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно.

Конструкцію тукового ножа наведено на рисунку 3.6.

Туковий ніж складається з передньої різальної кромки 1, упора 2, трубки для рідких добрив 3, пластини 4, тримача для шланга 5, формуючого елемента 6, носка ножа 7, тукопроводів 8 та вихідних трубок тукопроводу 9. Така конструкція дає змогу поєднати механічне розкриття ґрунту з подачею добрив у задану зону.

Передня різальна кромка 1 розміщена в передній частині тукового ножа. Вона першою взаємодіє з ґрунтом і полегшує входження ножа в ущільнений шар. Завдяки цьому зменшується опір руху робочого органа та покращується формування щілини.

Упор 2 призначений для обмеження положення окремих елементів ножа та підвищення жорсткості нижньої частини конструкції. Він також сприяє правильному розміщенню робочих елементів відносно основної пластини ножа.

Трубка для рідких добрив 3 призначена для подачі рідких добрив або робочих розчинів у зону обробітку. Її наявність робить конструкцію більш універсальною, оскільки робочий орган може бути використаний не лише для сухих мінеральних добрив, а й для рідких форм живлення.

Пластина 4 є основою тукового ножа. До неї кріпляться інші елементи конструкції: різальна кромка, упор, тримач шланга, формуючий елемент, носок ножа та трубки подачі добрив. Вона сприймає основні навантаження, що виникають під час руху ножа в ґрунті.

Тримач для шланга 5 забезпечує фіксацію подавального шланга та запобігає його зміщенню під час роботи агрегату. Це важливо, оскільки при вібрації та контакті з рослинними рештками незакріплений шланг може пошкоджуватися або змінювати своє положення.

Формуючий елемент 6 призначений для стабілізації профілю щілини, що утворюється після проходу ножа. Він сприяє утриманню заданої форми нижньої частини борозни та забезпечує умови для рівномірного розміщення добрив.

Носок ножа 7 є найбільш навантаженою частиною тукового ножа. Він безпосередньо контактує з ґрунтом, розрізає ущільнений шар і спрямовує ґрунт убік від зони внесення добрив. Оскільки носок ножа працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, його доцільно виготовляти з міцної конструкційної сталі та передбачати можливість заміни.

Тукопроводи 8 і вихідні трубки тукопроводу 9 забезпечують подачу добрив у нижню частину щілини. Вихідні трубки розміщені так, щоб добрива надходили за робочою частиною ножа у вже сформовану зону. Це зменшує винос добрив на поверхню та забезпечує їх локальне розміщення в межах обробленої смуги.

Під час роботи розпушувальна стійка заглиблюється в ґрунт, а туковий ніж формує щілину в нижній частині обробленої смуги. Через тукопроводи добрива подаються до вихідних трубок і розміщуються в зоні, доступній для подальшого

розвитку кореневої системи кукурудзи. Після проходження робочого органу ґрунт частково осипається назад у смугу, закриваючи добрива.

Запропонована конструкція має кілька переваг. По-перше, вона забезпечує локальне внесення добрив без виконання окремої технологічної операції. По-друге, розбірна будова полегшує ремонт і заміну зношуваних деталей. По-третє, використання адаптивних пластин підвищує жорсткість вузла з'єднання тукового ножа зі стійкою. У результаті робочий орган є придатним для використання в складі Strip-Till-агрегату при вирощуванні кукурудзи на зерно.

### **3.5. Розрахунок основних параметрів пристрою для локального внесення добрив**

Основними параметрами пристрою для локального внесення мінеральних добрив є глибина розміщення добрив, продуктивність подачі добрив на одну робочу секцію, кількість вихідних трубок, діаметр тукопроводу та основні габаритні розміри робочого органу. Розрахунок виконуємо для технології вирощування кукурудзи на зерно за Strip-Till, для якої ширина міжрядь становить 70 см, а норма локального внесення мінеральних добрив – 0,15 т/га.

Вихідні дані для розрахунку:

площа вирощування кукурудзи – 300 га;

норма локального внесення мінеральних добрив – 0,15 т/га, або 150 кг/га;

ширина міжрядь – 0,70 м;

глибина смугового обробітку ґрунту – 25–30 см;

глибина загортання насіння кукурудзи – 5–8 см;

прийнята робоча швидкість агрегату – 8 км/год;

кількість рядків Strip-Till-агрегату – 8;

кількість вихідних трубок тукопроводу на один туковий ніж – 2 шт.

Глибина розміщення добрив повинна забезпечувати доступність елементів живлення для кореневої системи кукурудзи і водночас не допускати безпосереднього контакту концентрованих добрив із насінням. Оскільки глибина

загортання насіння становить 5–8 см, добрива доцільно розміщувати нижче насіннєвого ложа. Для розробленої конструкції приймаємо глибину локального внесення добрив:

$$h_d = 14\text{--}16 \text{ см.}$$

При середній глибині загортання насіння 6 см вертикальна відстань між насінням і зоною внесення добрив становитиме:

$$\Delta h = h_d - h_n \quad (3.1)$$

де  $\Delta h$  – відстань між насінням і зоною внесення добрив, см;

$h_d$  – глибина внесення добрив, см;

$h_n$  – глибина загортання насіння, см.

$$\Delta h = 15 - 6 = 9 \text{ см}$$

Отже, прийняте розміщення добрив забезпечує їх локалізацію нижче насіннєвого ложа і зменшує ризик негативного впливу концентрованих добрив на проростки кукурудзи.

Визначимо подачу добрив на одну робочу секцію. Одна секція обробляє смугу, що відповідає одному міжряддю, тобто 0,70 м. Годинну подачу добрив на одну секцію визначаємо за формулою:

$$Q_c = H_d \cdot b \cdot \frac{V}{10}, \quad (3.2)$$

де  $Q_c$  – подача добрив на одну секцію, кг/год;

$H_d$  – норма внесення добрив, кг/га;

$b$  – ширина міжряддя, м;

$V$  – робоча швидкість агрегату, км/год.

$$Q_c = 150 \cdot 0,7 \cdot \frac{8}{10} = 84 \text{ кг/год}$$

Отже, для однієї робочої секції потрібно забезпечити подачу мінеральних добрив приблизно 84 кг/год.

Оскільки конструкцією тукового ножа передбачено дві вихідні трубки тукопроводу, подача на одну вихідну трубку становитиме:

$$Q_t = \frac{Q_c}{2}, \quad (3.3)$$

де  $Q_T$  – подача добрив через одну вихідну трубку, кг/год.

$$Q_T = \frac{82}{2} = 42 \text{ кг/год}$$

У перерахунку на секунди:

$$q_T = \frac{42}{3600} = 0,0117 \text{ кг/с}$$

Для перевірки достатності перерізу тукопроводу визначимо необхідну площу його прохідного отвору:

$$F_{\text{тр}} = \frac{q_T}{(\rho \cdot v_M)} \quad (3.4)$$

де  $F_{\text{тр}}$  – необхідна площа прохідного перерізу трубки, м<sup>2</sup>;

$q_T$  – секундна подача добрив через одну трубку, кг/с;

$\rho$  – насипна густина мінеральних добрив, кг/м<sup>3</sup>;

$v_M$  – прийнята швидкість руху матеріалу в трубці, м/с.

Для гранульованих мінеральних добрив приймаємо насипну густину  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$  швидкість руху матеріалу в трубці  $v_M = 0,5 \text{ м/с}$ .

$$F_{\text{тр}} = \frac{0,0117}{(900 \cdot 0,5)} = 0,000026 \text{ м}^2$$

Розрахунковий внутрішній діаметр трубки:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot F_{\text{тр}}}{\pi}\right)}, \quad (3.5)$$

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 0,000026}{3,14}\right)} = 0,0058 \text{ м} = 5,8 \text{ мм}$$

Розрахункове значення діаметра є малим, оскільки воно отримане для безперервного рівномірного руху матеріалу. У реальних умовах гранульовані добрива можуть рухатися нерівномірно, злежуватися, утворювати пробки або мати різний гранулометричний склад. Тому діаметр тукопроводу приймається з конструктивним запасом.

Для розробленої конструкції приймаємо тукопровід із труби:

$$D_3 = 25 \text{ мм},$$

товщина стінки:

$$s = 2 \text{ мм.}$$

Тоді внутрішній діаметр тукопроводу становитиме:

$$D_B = D_3 - 2s \quad (3.6)$$

$$D_B = 25 - 2 \cdot 2 = 21 \text{ мм}$$

Фактична площа внутрішнього перерізу тукопроводу:

$$F_\Phi = \pi \cdot \frac{D_B^2}{4}, \quad (3.7)$$

$$F_\Phi = 3,14 \cdot \frac{0,021^2}{4} = 0,000346 \text{ м}^2.$$

Фактична пропускна здатність одного тукопроводу за прийнятих умов:

$$q_\Phi = F_\Phi \cdot \rho \cdot \gamma_M, \quad (3.8)$$

$$q_\Phi = 0,000346 \cdot 900 \cdot 0,5 = 0,1557 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

У перерахунку на годину:

$$Q_\Phi = 0,1557 \cdot 3600 = 560,5 \text{ кг/год.}$$

Отже, прийнятий діаметр тукопроводу забезпечує значний запас пропускної здатності порівняно з необхідною подачею 42 кг/год на одну вихідну трубку. Такий запас є доцільним, оскільки зменшує ризик забивання трубки гранульованими добривами.

Для восьмирядного Strip-Till-агрегату загальна подача добрив становитиме:

$$Q_{\text{заг}} = Q_c \cdot n, \quad (3.9)$$

де  $Q_{\text{заг}}$  – загальна подача добрив агрегатом, кг/год;

$n$  – кількість робочих секцій.

$$Q_{\text{заг}} = 84 \cdot 8 = 672 \text{ кг/год}$$

Таким чином, при робочій швидкості 8 км/год і нормі внесення 150 кг/га восьмирядний агрегат повинен забезпечити загальну подачу добрив близько 672 кг/год.

Основні конструктивні параметри розробленого пристрою прийняті за кресленнями розпушувальної стійки та тукового ножа. Розпушувальна стійка має

загальну висоту 1000 мм, довжину в боковому вигляді 800 мм, товщину верхньої стійки 30 мм і ширину нижньої робочої частини 70 мм. Туковий ніж має висоту 430 мм, довжину в плані 300 мм і ширину 120 мм.

Основні параметри пристрою наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні параметри пристрою для локального внесення добрив

| Показник                                           | Значення |
|----------------------------------------------------|----------|
| Норма внесення мінеральних добрив, кг/га           | 150      |
| Ширина міжряддя, м                                 | 0,70     |
| Робоча швидкість агрегату, км/год                  | 8        |
| Подача добрив на одну секцію, кг/год               | 84       |
| Кількість вихідних трубок на один туковий ніж, шт. | 2        |
| Подача добрив через одну вихідну трубку, кг/год    | 42       |
| Прийнятий зовнішній діаметр тукопроводу, мм        | 25       |
| Товщина стінки тукопроводу, мм                     | 2        |
| Внутрішній діаметр тукопроводу, мм                 | 21       |
| Глибина смугового обробітку, см                    | 25–30    |
| Глибина локального внесення добрив, см             | 14–16    |
| Висота розпушувальної стійки, мм                   | 1000     |
| Довжина розпушувальної стійки, мм                  | 800      |
| Товщина верхньої стійки, мм                        | 30       |
| Висота тукового ножа, мм                           | 430      |
| Довжина тукового ножа, мм                          | 300      |
| Ширина тукового ножа, мм                           | 120      |

Отже, прийняті параметри забезпечують можливість локального внесення мінеральних добрив у нижню частину обробленої смуги. Розрахована необхідна подача добрив на одну робочу секцію становить 84 кг/год, а прийнятий діаметр тукопроводу 25×2 мм має достатній запас пропускної здатності для стабільної роботи пристрою.

### 3.6. Розрахунок тягового опору робочої секції Strip-Till-агрегату

Під час роботи Strip-Till-агрегату найбільшу частину тягового опору створює розпушувальна стійка, яка заглиблюється в ґрунт і руйнує ущільнений шар у межах обробленої смуги. Додатковий опір створюють ґрунтонапрямні диски, формувальний коток, туковий ніж та елементи пристрою для локального внесення добрив. Тому при проектуванні робочої секції необхідно перевірити, чи забезпечує вибраний трактор достатнє тягове зусилля для роботи агрегату.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

глибина смугового обробітку ґрунту –  $h = 0,30$  м;

ширина обробленої смуги –  $b = 0,20$  м;

кількість робочих секцій агрегату –  $n = 8$ ;

робоча швидкість руху агрегату –  $V = 8$  км/год;

питомий опір ґрунту для глибокого смугового розпушування –  $k = 80$  кН/м<sup>2</sup>;

коефіцієнт запасу на зміну вологості та щільності ґрунту –  $K_3 = 1,15$ .

Основний тяговий опір розпушувальної стійки однієї секції визначаємо за формулою:

$$R_c = k \cdot b \cdot h \cdot K_3, \quad (3.10)$$

де  $R_c$  – тяговий опір розпушувальної стійки однієї секції, кН;

$k$  – питомий опір ґрунту, кН/м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина обробленої смуги, м;

$h$  – глибина обробітку, м;

$K_3$  – коефіцієнт запасу.

Підставляємо прийняті значення:

$$R_c = 80 \cdot 0,2 \cdot 0,3 \cdot 1,15 = 5,52 \text{ кН.}$$

Отже, тяговий опір розпушувальної стійки однієї секції становить 5,52 кН.

Окрім основного опору стійки, необхідно врахувати додатковий опір тукового ножа, ґрунтонапрямних дисків і формувального котка. Для спрощеного розрахунку приймаємо:

- опір тукового ножа з пристроєм подачі добрив –  $R_m = 0,40$  кН;

- опір ґрунтонапрямних дисків –  $R_d = 0,35$  кН;
- опір формувального котка –  $R_k = 0,30$  кН.

Тоді загальний опір однієї робочої секції становитиме:

$$R_1 = R_c + R_T + R_d + R_k, \quad (3.11)$$

де  $R_1$  – загальний тяговий опір однієї робочої секції, кН.

$$R_1 = 5,52 + 0,4 + 0,35 + 0,3 = 6,57 \text{ кН.}$$

Приймаємо:

$$R_1 = 6,6 \text{ кН}$$

Загальний тяговий опір восьмирядного Strip-Till-агрегату визначаємо за формулою:

$$R_{\text{агр}} = R_1 \cdot n, \quad (3.12)$$

де  $R_{\text{агр}}$  – загальний тяговий опір агрегату, кН;

$n$  – кількість робочих секцій.

$$R_{\text{агр}} = 6,6 \cdot 8 = 52,8 \text{ кН}$$

Для врахування опору рами, допоміжних вузлів та втрат при русі агрегату приймаємо додатковий коефіцієнт  $K_d = 1,05$ . Тоді повний тяговий опір агрегату становитиме:

$$R_{\text{пов}} = R_{\text{агр}} \cdot K_d, \quad (3.13)$$

$$R_{\text{пов}} = 52,8 \cdot 1,05 = 55,4 \text{ кН.}$$

Отже, повний тяговий опір восьмирядного Strip-Till-агрегату становить приблизно 55,4 кН.

Визначимо потужність, необхідну для переміщення агрегату. Робочу швидкість 8 км/год переводимо в м/с:

$$V = \frac{8}{3,6} = 2,22 \text{ м/с.}$$

Потрібну тягову потужність визначаємо за формулою:

$$N_T = R_{\text{пов}} \frac{V}{\eta}, \quad (3.14)$$

де  $N_T$  – потрібна тягова потужність, кВт;

$R_{\text{пов}}$  – повний тяговий опір агрегату, кН;

$V$  – робоча швидкість руху, м/с;

$\eta$  – коефіцієнт використання потужності трактора на тягу,  $\eta = 0,85$ .

$$N_T = 55,4 \cdot \frac{2,22}{0,85} = 144,7 \text{ кВт.}$$

Отже, для роботи восьмирядного Strip-Till-агрегату з розробленою розпушувальною стійкою та туковим ножом потрібно приблизно 145 кВт тягової потужності.

У технологічній карті для виконання смугового обробітку ґрунту з локальним внесенням добрив прийнято трактор Case Magnum 335. Потужність такого трактора є достатньою для агрегування з восьмирядним Strip-Till-агрегатом, оскільки розрахункова потреба в тяговій потужності становить близько 145 кВт. Це дає змогу виконувати смуговий обробіток на глибину 25–30 см при робочій швидкості 8 км/год.

Для оцінки впливу запропонованого удосконалення визначимо частку додаткового опору тукового ножа в загальному опорі секції:

$$\delta = \frac{R_T}{R_1} \cdot 100, \quad (3.15)$$

де  $\delta$  – частка опору тукового ножа, %.

$$\delta = \frac{0,4}{6,6} \cdot 100 = 6,1 \text{ \%}.$$

Отже, додатковий опір тукового ножа з пристроєм локального внесення добрив становить приблизно 6,1 % від загального опору однієї секції. Це свідчить про те, що запропоноване вдосконалення не призводить до значного збільшення тягового навантаження на агрегат.

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку тягового опору Strip-Till-агрегату

| Показник                               | Позначення | Значення |
|----------------------------------------|------------|----------|
| Глибина смугового обробітку, м         | $h$        | 0,30     |
| Ширина обробленої смуги, м             | $b$        | 0,20     |
| Питомий опір ґрунту, кН/м <sup>2</sup> | $k$        | 80       |
| Коефіцієнт запасу                      | $K_3$      | 1,15     |

|                                              |           |       |
|----------------------------------------------|-----------|-------|
| Опір розпушувальної стійки однієї секції, кН | $R_c$     | 5,52  |
| Опір тукового ножа, кН                       | $R_m$     | 0,40  |
| Опір ґрунтонапрямних дисків, кН              | $R_o$     | 0,35  |
| Опір формувального котка, кН                 | $R_k$     | 0,30  |
| Загальний опір однієї секції, кН             | $R_l$     | 6,6   |
| Кількість робочих секцій, шт.                | $n$       | 8     |
| Повний тяговий опір агрегату, кН             | $R_{нов}$ | 55,4  |
| Робоча швидкість агрегату, м/с               | $V$       | 2,22  |
| Потрібна тягова потужність, кВт              | $N_m$     | 144,7 |
| Частка опору тукового ножа, %                | $\delta$  | 6,1   |

Таким чином, розрахунок показав, що повний тяговий опір восьмирядного Strip-Till-агрегату становить близько 55,4 кН, а необхідна тягова потужність — близько 145 кВт. Додатковий опір удосконаленого тукового ножа є незначним порівняно із загальним опором робочої секції, тому запропонована конструкція може використовуватися в складі Strip-Till-агрегату без істотного підвищення енергоємності технологічного процесу.

### 3.7. Розрахунок адаптивної пластини кріплення тукового ножа на міцність

У запропонованій конструкції розпушувальної стійки з туковим ножом з'єднання верхньої та нижньої частин робочого органа виконується за допомогою двох адаптивних пластин. Пластини встановлюються з обох боків стику та фіксуються болтовими з'єднаннями. Під час роботи Strip-Till-агрегату на цей вузол діє тягове навантаження, яке передається від тукового ножа на розпушувальну стійку. Тому необхідно перевірити міцність адаптивної пластини та болтового з'єднання.

За результатами попереднього розрахунку тяговий опір однієї робочої секції становить:

$$R_l = 6,6 \text{ кН.}$$

Для врахування короткочасного збільшення навантаження при зміні щільності ґрунту, наявності рослинних решток або потраплянні робочого органа в ущільнену ділянку приймаємо коефіцієнт динамічності:

$$K_d = 1,5.$$

Розрахункове навантаження на вузол кріплення тукового ножа становитиме:

$$P = R_1 \cdot K_d, \quad (3.16)$$

де  $P$  – розрахункове навантаження на вузол кріплення, кН;

$R_1$  – тяговий опір однієї робочої секції, кН;

$K_d$  – коефіцієнт динамічності.

$$P = 6,6 \cdot 1,5 = 9,9 \text{ кН}$$

Оскільки з'єднання виконується двома адаптивними пластинами, навантаження на одну пластину становитиме:

$$P_{\Pi} = \frac{P}{2}, \quad (3.17)$$

де  $P_{\Pi}$  – навантаження на одну адаптивну пластину, кН.

$$P_{\Pi} = \frac{9,9}{2} = 4,95 \text{ кН.}$$

Приймаємо основні розміри адаптивної пластини:

товщина пластини –  $\delta = 10$  мм;

ширина пластини в небезпечному перерізі –  $b = 45$  мм;

діаметр отвору під болт М16 –  $d_0 = 17$  мм;

матеріал пластини – сталь 45;

допустиме напруження розтягу для сталі 45 приймаємо  $[\sigma] = 160$  МПа.

Небезпечним перерізом пластини є переріз, ослаблений отвором під болт.

Площа нетто цього перерізу визначається за формулою:

$$F_H = (b - d_0) \cdot \delta, \quad (3.18)$$

де  $F_H$  – площа ослабленого перерізу пластини, мм<sup>2</sup>;

$b$  – ширина пластини, мм;

$d_0$  – діаметр отвору, мм;

$\delta$  – товщина пластини, мм.

$$F_H = (45 - 17) \cdot 10 = 280 \text{ мм}^2.$$

Напруження розтягу в ослабленому перерізі пластини визначаємо за формулою:

$$\sigma = \frac{P_{\Pi}}{F_H}, \quad (3.19)$$

де  $\sigma$  – розрахункове напруження в пластині, МПа;

$P_{\Pi}$  – навантаження на одну пластину, Н;

$F_H$  – площа ослабленого перерізу, мм<sup>2</sup>.

$$\sigma = \frac{4950}{280} = 17,7 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (3.20)$$

$$17,7 \text{ МПа} \leq 160 \text{ МПа}.$$

Отже, адаптивна пластина за умовою міцності на розтяг у небезпечному перерізі має достатній запас міцності.

Далі перевіримо болтове з'єднання на зріз. У конструкції використовується чотири болти М16. Розрахункове навантаження на один болт визначається за формулою:

$$P_6 = \frac{P}{z}, \quad (3.21)$$

де  $P_6$  – навантаження на один болт, Н;

$P$  – загальне розрахункове навантаження на вузол, Н;

$z$  – кількість болтів.

$$P_6 = \frac{9900}{4} = 2475 \text{ Н}.$$

Площа поперечного перерізу болта М16 визначається за формулою:

$$F_6 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}, \quad (3.22)$$

де  $F_6$  – площа поперечного перерізу болта, мм<sup>2</sup>;

$d$  – діаметр болта, мм.

$$F_6 = 3,14 \cdot \frac{16^2}{4} = 201 \text{ мм}^2.$$

Напруження зрізу в болті визначаємо за формулою:

$$\tau = \frac{P_6}{F_6}, \quad (3.23)$$

де  $\tau$  – напруження зрізу в болті, МПа.

$$\tau = \frac{2475}{201} = 12,3 \text{ МПа.}$$

Для болтів класу міцності 5.8 допустиме напруження зрізу приймаємо  $[\tau] = 80 \text{ МПа}$ .

Умова міцності болта на зріз:

$$\tau \leq [\tau] \quad (3.24)$$

$$12,3 \text{ МПа} \leq 80 \text{ МПа.}$$

Отже, болти М16 забезпечують необхідну міцність з'єднання на зріз.

Перевіримо адаптивну пластину на зминання в зоні контакту з болтом.

Напруження зминання визначаємо за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{P_6}{(d \cdot \delta)}, \quad (3.25)$$

де  $\sigma_{зм}$  – напруження зминання, МПа;

$P_6$  – навантаження на один болт, Н;

$d$  – діаметр болта, мм;

$\delta$  – товщина пластини, мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{2475}{(16 \cdot 10)} = 15,5 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження зминання для сталі 45 приймаємо  $[\sigma_{зм}] = 180 \text{ МПа}$ .

Умова міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.26)$$

$$15,5 \text{ МПа} \leq 180 \text{ МПа.}$$

Отже, адаптивна пластина також має достатню міцність за умовою зминання в зоні болтового з'єднання.

Коефіцієнт запасу міцності пластини за розтягом визначаємо за формулою:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma}, \quad (3.27)$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу міцності.

$$n = \frac{160}{17,7} = 9$$

Коефіцієнт запасу міцності болтів за зрізом:

$$n_6 = \frac{[\tau]}{\tau}, \quad (3.28)$$

$$n_6 = \frac{80}{12,3} = 6,5$$

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку адаптивної пластини та болтового з'єднання

| Показник                                    | Позначення      | Значення |
|---------------------------------------------|-----------------|----------|
| Тяговий опір однієї секції, кН              | $R_I$           | 6,6      |
| Коефіцієнт динамічності                     | $K_d$           | 1,5      |
| Розрахункове навантаження на вузол, кН      | $P$             | 9,9      |
| Кількість адаптивних пластин, шт.           | —               | 2        |
| Навантаження на одну пластину, кН           | $P_n$           | 4,95     |
| Товщина пластини, мм                        | $\delta$        | 10       |
| Ширина пластини, мм                         | $b$             | 45       |
| Діаметр отвору, мм                          | $d_0$           | 17       |
| Площа ослабленого перерізу, мм <sup>2</sup> | $F_n$           | 280      |
| Напруження розтягу в пластині, МПа          | $\sigma$        | 17,7     |
| Допустиме напруження розтягу, МПа           | $[\sigma]$      | 160      |
| Коефіцієнт запасу пластини                  | $n$             | 9,0      |
| Кількість болтів, шт.                       | $z$             | 4        |
| Діаметр болта, мм                           | $d$             | 16       |
| Напруження зрізу в болті, МПа               | $\tau$          | 12,3     |
| Допустиме напруження зрізу, МПа             | $[\tau]$        | 80       |
| Коефіцієнт запасу болтів                    | $n_6$           | 6,5      |
| Напруження зминання, МПа                    | $\sigma_{зм}$   | 15,5     |
| Допустиме напруження зминання, МПа          | $[\sigma_{зм}]$ | 180      |

Проведений розрахунок показав, що адаптивна пластина та болтове з'єднання мають достатній запас міцності. Максимальне напруження розтягу в ослабленому перерізі пластини становить 17,7 МПа, що значно менше допустимого значення 160 МПа. Напруження зрізу в болтах М16 становить 12,3 МПа, що також не перевищує допустимого значення. Отже, прийнята конструкція вузла кріплення тукового ножа є працездатною і може бути використана в складі розпушувальної стійки Strip-Till-агрегату.

### **3.8. Технічне обслуговування та регулювання удосконаленого пристрою**

Надійна робота розпушувальної стійки з туковим ножом залежить не лише від правильності конструкції, а й від своєчасного технічного обслуговування та регулювання. Оскільки робочий орган працює в умовах значного тягового навантаження, контакту з ґрунтом, рослинними рештками та абразивного зношування, перед початком роботи необхідно перевіряти стан основних деталей і з'єднань.

Технічне обслуговування розпушувальної стійки з туковим ножом включає зовнішній огляд, перевірку болтових з'єднань, контроль стану адаптивних пластин, перевірку зношування носка ножа, очищення тукопроводів і перевірку правильності подачі добрив. Особливу увагу необхідно приділяти нижній частині тукового ножа, оскільки саме вона безпосередньо контактує з ґрунтом і сприймає найбільші навантаження.

Перед виїздом агрегату в поле необхідно перевірити кріплення верхньої стійки, тукового ножа та адаптивних пластин. Болти М16 повинні бути надійно затягнуті, гайки не повинні мати ознак самовідгвинчування, а отвори в пластинах не повинні бути розбитими або деформованими. При виявленні ослаблення кріплення болти потрібно підтягнути, а при пошкодженні різьби або деформації – замінити.

Адаптивні пластини необхідно оглядати на наявність тріщин, вигину або слідів пластичної деформації. Поява тріщин біля отворів під болти є небезпечною, оскільки ці місця є концентраторами напружень. У разі виявлення таких пошкоджень пластини потрібно замінити. Експлуатація робочого органа з пошкодженими пластинами не допускається, оскільки це може призвести до порушення положення тукового ножа та руйнування вузла кріплення.

Носок ножа є змінною зношуваною деталлю. Під час роботи він поступово втрачає початкову форму, що призводить до збільшення тягового опору, погіршення формування щілини та зниження стабільності ходу робочого органа. Носок ножа необхідно замінювати при значному зношуванні робочої кромки, появі тріщин, викришуванні металу або втраті геометричної форми. Своєчасна заміна носка ножа дозволяє уникнути передчасного зношування інших елементів тукового ножа.

Тукопроводи та вихідні трубки тукопроводу необхідно очищати від залишків добрив після закінчення роботи. Залишки мінеральних добрив можуть злежуватися, поглинати вологу та викликати корозію металевих елементів. Перед початком роботи потрібно переконатися, що тукопроводи не забиті, а добрива проходять через них рівномірно. Для перевірки подачі добрив допускається короткочасне прокручування дозувального апарата без заглиблення робочого органа в ґрунт.

Регулювання пристрою полягає у встановленні необхідної глибини ходу розпушувальної стійки, перевірці положення тукового ножа та контролі розміщення вихідних трубок тукопроводу. Для вирощування кукурудзи на зерно глибина смугового обробітку прийнята 25–30 см. Глибина локального внесення добрив повинна бути меншою за повну глибину обробітку, але більшою за глибину загортання насіння. У розробленій конструкції добрива доцільно розміщувати на глибині 14–16 см.

Вихідні трубки тукопроводу повинні бути спрямовані в нижню частину щілини за носком ножа. Таке положення забезпечує подачу добрив у вже сформовану зону та зменшує їх винос на поверхню. При неправильному

положенні вихідних трубок добрива можуть потрапляти не в робочу зону, а на поверхню ґрунту або в бік від обробленої смуги.

Після завершення роботи необхідно очистити туковий ніж, носок ножа, тукопроводи та зону болтових з'єднань від ґрунту й залишків добрив. Особливо важливо очищати місця біля вихідних трубок, оскільки там можливе накопичення вологих добрив і ґрунту. Після очищення проводять огляд робочих поверхонь, перевіряють цілісність зварних з'єднань і стан кріпильних елементів.

Під час сезонного технічного обслуговування необхідно демонтувати туковий ніж, перевірити стан адаптивних пластин, болтів, гайок і посадкових поверхонь. Деталі з ознаками значного зношування, тріщинами або деформаціями підлягають заміні. Поверхні, які не контактують безпосередньо з ґрунтом, доцільно очистити від корозії та поновити захисне покриття.

Для зберігання робочий орган необхідно очистити від забруднень, висушити, перевірити стан покриття і за потреби нанести захисний шар мастила на металеві поверхні, схильні до корозії. Зберігати розпушувальну стійку з туковим ножом бажано в сухому приміщенні або під навісом. Не допускається тривале зберігання із залишками мінеральних добрив у тукопроводах, оскільки це може спричинити корозійне пошкодження деталей.

Таким чином, правильне технічне обслуговування та регулювання розпушувальної стійки з туковим ножом забезпечує стабільну роботу пристрою, точне локальне внесення добрив і зменшення ризику передчасного зношування деталей. Основними контрольними операціями є перевірка болтових з'єднань, огляд адаптивних пластин, контроль стану носка ножа та очищення тукопроводів після роботи.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

При вирощуванні кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till основні небезпечні та шкідливі фактори пов'язані з експлуатацією машинно-тракторних агрегатів, роботою з мінеральними добривами, застосуванням засобів захисту рослин, виконанням збирально-транспортних робіт та перебуванням працівників у зоні руху техніки.

Під час смугового обробітку ґрунту небезпеку становлять рухомі та обертові частини агрегату, розпушувальні стійки, дискові робочі органи, гідравлічна система, а також можливість травмування при неправильному агрегуванні або регулюванні машини. Додатковими шкідливими факторами є шум, вібрація, пил, фізичне навантаження та підвищена концентрація вихлопних газів у зоні роботи техніки.

При роботі з мінеральними добривами можливий негативний вплив пилу та частинок добрив на органи дихання, шкіру й очі працівників. Під час приготування робочих розчинів і внесення гербіцидів небезпеку становить контакт із хімічними речовинами, забруднення спецодягу, тари, обладнання та навколишнього середовища.

Під час збирання кукурудзи на зерно основними ризиками є робота поблизу комбайна, перевантажувального бункера та транспортних засобів. Небезпеку створюють рухомі механізми жатки, вивантажувальні шнеки, пил, сухі рослинні рештки, інтенсивний рух автомобілів і тракторних потягів на полі.

### **4.2. Вимоги безпеки при експлуатації машинно-тракторних агрегатів**

До роботи з машинно-тракторними агрегатами допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, мають відповідну кваліфікацію та

ознайомлені з правилами експлуатації конкретної машини. Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан трактора, Strip-Till-агрегату, сівалки, обприскувача, комбайна та транспортних засобів.

Перед виїздом у поле перевіряють справність гальм, рульового керування, світлової сигналізації, гідравлічної системи, захисних кожухів, з'єднувальних пристроїв і болтових кріплень. Особливу увагу приділяють кріпленню розпушувальних стійок, тукових ножів, дискових робочих органів і прикочувальних котків.

Регулювання, очищення та ремонт робочих органів допускається виконувати тільки після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна та опускання машини на опори або ґрунт. Забороняється перебувати між трактором і агрегатом під час зчеплення, а також знаходитися в зоні руху агрегату під час роботи.

Під час роботи агрегату необхідно дотримуватися безпечної швидкості руху, не допускати різких поворотів, роботи на несправній техніці та перевезення сторонніх осіб на машинах. У темний час доби або при поганій видимості техніка повинна мати справне освітлення та сигнальні пристрої.

#### **4.3. Вимоги безпеки при роботі з добривами та засобами захисту рослин**

Навантаження, перевезення та внесення мінеральних добрив необхідно виконувати з використанням засобів індивідуального захисту: спецодягу, рукавиць, захисних окулярів і респіратора. Добрива повинні транспортуватися без втрат, зволоження та розсипання. При випадковому розсипанні добрива необхідно зібрати й не допускати їх потрапляння у водойми або місця зберігання кормів.

Під час роботи з гербіцидами забороняється палити, приймати їжу або пити воду. Приготування робочого розчину виконують у спеціально відведеному місці. Працівники повинні використовувати спецодяг, гумові рукавиці, окуляри та засоби захисту органів дихання.

Обприскування посівів слід виконувати за сприятливих погодних умов, без сильного вітру та опадів. Не допускається знесення робочого розчину на сусідні культури, водойми, дороги та населені пункти. Після завершення роботи обприскувач, баки, шланги та форсунки промивають, а залишки робочого розчину утилізують відповідно до вимог безпеки.

#### **4.4. Заходи пожежної безпеки при виконанні польових робіт**

Пожежна небезпека під час вирощування та збирання кукурудзи пов'язана з наявністю сухих рослинних решток, пилу, пального, мастильних матеріалів і нагрітих частин двигунів. Найбільший ризик виникає під час збирання врожаю, коли комбайн працює в умовах підвищеної запиленості.

Трактори, комбайни й автомобілі повинні бути укомплектовані справними вогнегасниками. Перед початком роботи перевіряють герметичність паливної системи, справність електропроводки та відсутність підтікання пального або мастила. Заправку техніки виконують тільки у спеціально визначених місцях із дотриманням правил пожежної безпеки.

Під час збирання необхідно періодично очищати комбайн від пилу, соломи та рослинних решток, особливо біля двигуна, випускної системи та рухомих механізмів. Забороняється використовувати відкритий вогонь поблизу техніки, пального, добрив і сухих рослинних решток.

#### **4.5. Захист навколишнього середовища при впровадженні технології Strip-Till**

Технологія Strip-Till має низку екологічних переваг порівняно з інтенсивним суцільним обробітком ґрунту. Обробляється лише смуга майбутнього рядка, а міжряддя залишаються менш порушеними та частково вкритими рослинними рештками. Це сприяє зменшенню водної та вітрової ерозії, кращому збереженню вологи та зниженню руйнування структури ґрунту.

Локальне внесення мінеральних добрив дозволяє розміщувати поживні речовини ближче до кореневої системи кукурудзи. Завдяки цьому підвищується ефективність використання добрив і зменшується ризик їх непродуктивних втрат. Водночас неправильне внесення добрив може призвести до забруднення ґрунту й водних об'єктів, тому необхідно дотримуватися встановлених норм і не допускати розсипання матеріалів.

Зменшення кількості проходів техніки по полю сприяє зниженню витрат пального, зменшенню ущільнення ґрунту та скороченню викидів від двигунів внутрішнього згоряння. Однак екологічна ефективність технології залежить від правильної експлуатації техніки, точного налаштування агрегатів, справності обприскувачів і дотримання регламентів застосування засобів захисту рослин.

Отже, впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно може позитивно впливати на стан ґрунту та зменшувати енергоємність технологічного процесу. Для забезпечення безпечної роботи необхідно дотримуватися вимог охорони праці, пожежної безпеки та екологічних правил при виконанні всіх механізованих операцій.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

### 5.1. Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Техніко-економічну оцінку впровадження технології Strip-Till виконуємо шляхом порівняння проєктної технології з базовою технологією вирощування кукурудзи на зерно. Основна відмінність між ними полягає в системі обробітку ґрунту. У базовій технології застосовуються окремі операції суцільного обробітку ґрунту, а в проєктній технології вони замінюються смуговим обробітком ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив.

Для розрахунку приймаємо площу вирощування кукурудзи 300 га. Планова врожайність зерна становить 8,3 т/га, тому валовий збір зерна дорівнює 2490 т. Загальні витрати палива за технологічною картою Strip-Till становлять 14016,8 кг, а затрати праці – 601,7 люд.-год.

Для порівняння приймаємо, що в базовій технології замість однієї операції Strip-Till виконуються лушення стерні, оранка, закриття вологи, передпосівна культивування та окреме внесення мінеральних добрив. Інші операції — підготовка насіння, сівба, захист рослин, підживлення, збирання і транспортування зерна — в обох технологіях приймаються однаковими.

Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

| Показник                                          | Значення |
|---------------------------------------------------|----------|
| Площа вирощування кукурудзи, га                   | 300      |
| Планова урожайність, т/га                         | 8,3      |
| Валовий збір зерна, т                             | 2490     |
| Витрати палива за технологією Strip-Till, кг      | 14016,8  |
| Затрати праці за технологією Strip-Till, люд.-год | 601,7    |
| Витрати палива за базовою технологією, кг         | 21516,8  |

|                                                                                             |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Затрати праці за базовою технологією, люд.-год                                              | 781,0  |
| Густина дизельного пального, кг/л                                                           | 0,84   |
| Прийнята ціна дизельного пального, грн/л                                                    | 55     |
| Оплата праці, грн/люд.-год                                                                  | 100    |
| Додаткові капітальні вкладення на виготовлення комплекту удосконалених робочих органів, грн | 160000 |

## 5.2. Розрахунок витрат пального

Витрати пального за базовою технологією прийнято на рівні 21516,8 кг. Це значення враховує витрати на основні технологічні операції, включаючи традиційний блок обробітку ґрунту.

Питомі витрати пального за базовою технологією становлять:

$$g_6 = \frac{G_6}{F}, \quad (5.1)$$

де  $g_6$  – питомі витрати пального за базовою технологією, кг/га;

$G_6$  – загальні витрати пального за базовою технологією, кг;

$F$  – площа посіву, га.

$$g_6 = \frac{21516,8}{300} = 71,7 \text{ кг/га.}$$

Питомі витрати пального за технологією Strip-Till становлять:

$$g_{\text{ст}} = \frac{G_{\text{ст}}}{F}, \quad (5.2)$$

де  $g_{\text{ст}}$  – питомі витрати пального за технологією Strip-Till, кг/га;

$G_{\text{ст}}$  – загальні витрати пального за технологією Strip-Till, кг.

$$g_{\text{ст}} = \frac{14016,8}{300} = 46,7 \text{ кг/га}$$

Економія пального на 1 га:

$$E_{\text{п.га}} = g_6 - g_{\text{ст}} = 71,7 - 46,7 = 25 \text{ кг/га} \quad (5.3)$$

Загальна економія пального:

$$E_{\text{п}} = G_6 - G_{\text{ст}} = 21516,8 - 14016,8 = 7500 \text{ кг} \quad (5.4)$$

Отже, застосування технології Strip-Till дозволяє зменшити витрати пального на 7500 кг, або на 25,0 кг/га.

Вартість пального визначаємо за формулою:

$$C_{\text{п}} = \frac{G}{\rho} \cdot \text{Ц}_{\text{п}} \quad (5.5)$$

де  $C_{\text{п}}$  – вартість пального, грн;

$G$  – витрати пального, кг;

$\rho$  – густина дизельного пального, кг/л;

$\text{Ц}_{\text{п}}$  – ціна дизельного пального, грн/л.

Для базової технології:

$$C_{\text{п.б}} = \frac{21516,8}{0,84} \cdot 55 = 1408838,1 \text{ грн}$$

Для технології Strip-Till:

$$C_{\text{п.ст}} = \frac{14016,8}{0,84} \cdot 55 = 917766,7 \text{ грн}$$

Економія коштів на пальному:

$$E_{\text{п.грн}} = C_{\text{п.б}} - C_{\text{п.ст}} = 1408838,1 - 917766,7 = 491071,4 \text{ грн} \quad (5.6)$$

### 5.3. Розрахунок затрат праці

Затрати праці за базовою технологією становлять 781,0 люд.-год, а за технологією Strip-Till – 601,7 люд.-год.

Економія затрат праці:

$$E_{\text{пр}} = T_{\text{б}} - T_{\text{ст}}, \quad (5.7)$$

де  $E_{\text{пр}}$  – економія затрат праці, люд.-год;

$T_{\text{б}}$  – затрати праці за базовою технологією, люд.-год;

$T_{\text{ст}}$  – затрати праці за технологією Strip-Till, люд.-год.

$$E_{\text{пр}} = 781 - 601,7 = 179,3 \text{ люд. – год}$$

Вартість оплати праці визначаємо за формулою:

$$C_{\text{пр}} = T \cdot \text{Ц}_{\text{пр}}, \quad (5.8)$$

де  $C_{\text{пр}}$  – витрати на оплату праці, грн;

$T$  – затрати праці, люд.-год;

$\text{Ц}_{\text{пр}}$  – оплата праці, грн/люд.-год.

Для базової технології:

$$C_{\text{пр.б}} = 781 \cdot 100 = 78100 \text{ грн}$$

Для технології Strip-Till:

$$C_{\text{пр.б}} = 601,7 \cdot 100 = 60170 \text{ грн}$$

Економія витрат на оплату праці:

$$E_{\text{пр.грн}} = 78100 - 60170 = 17930 \text{ грн}$$

#### 5.4. Визначення загального економічного ефекту

Загальний економічний ефект визначаємо як суму економії коштів на пальному та оплаті праці:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{п.грн}} + E_{\text{пр.грн}}, \quad (5.9)$$

де  $E_{\text{заг}}$  – загальний економічний ефект, грн;

$E_{\text{п.грн}}$  – економія коштів на пальному, грн;

$E_{\text{пр.грн}}$  – економія коштів на оплаті праці, грн.

$$E_{\text{заг}} = 491071,4 + 17930 = 509001,4 \text{ грн}$$

Економічний ефект на 1 га:

$$E_{\text{га}} = \frac{E_{\text{заг}}}{F} = \frac{509001,4}{300} = 1696,7 \text{ грн/га}. \quad (5.10)$$

Зниження витрат пального у відсотках:

$$\Delta G = \frac{(G_{\text{б}} - G_{\text{ст}})}{G_{\text{б}} \cdot 100} = \frac{21516,8 - 14016,8}{21516,8 \cdot 100} = 34,9 \% \quad (5.11)$$

Зниження затрат праці:

$$\Delta T = \frac{(T_{\text{б}} - T_{\text{ст}})}{T_{\text{б}} \cdot 100} = \frac{(781 - 601,7)}{781 \cdot 100} = 23\% \quad (5.12)$$

Результати порівняння наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Порівняння базової технології та технології Strip-Till

| Показник                       | Базова технологія | Strip-Till | Економія |
|--------------------------------|-------------------|------------|----------|
| Витрати пального, кг           | 21516,8           | 14016,8    | 7500,0   |
| Питомі витрати пального, кг/га | 71,7              | 46,7       | 25,0     |
| Вартість пального, грн         | 1408838,1         | 917766,7   | 491071,4 |
| Затрати праці, люд.-год        | 781,0             | 601,7      | 179,3    |
| Витрати на оплату праці, грн   | 78100             | 60170      | 17930    |
| Загальні змінні витрати, грн   | 1486938,1         | 977936,7   | 509001,4 |
| Економічний ефект, грн/га      | —                 | —          | 1696,7   |

### 5.5. Розрахунок строку окупності

Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{заг}}}, \quad (5.13)$$

де  $T_{\text{ок}}$  – строк окупності, років;

$K$  – додаткові капітальні вкладення, грн;

$E_{\text{заг}}$  – річний економічний ефект, грн.

Для розрахунку приймаємо, що додаткові капітальні вкладення на виготовлення та встановлення комплекту удосконалених робочих органів для восьмирядного Strip-Till-агрегату становлять:

$$K = 160000 \text{ грн.}$$

Тоді строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{160000}{509001,4} = 0,31 \text{ року}$$

Отже, додаткові витрати на виготовлення та встановлення удосконалених робочих органів окупаються менш ніж за один виробничий сезон.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розглянуто питання підвищення ефективності вирощування кукурудзи на зерно шляхом впровадження технології Strip-Till. Актуальність теми зумовлена необхідністю зменшення енергоємності технологічного процесу, скорочення витрат пального, раціонального використання мінеральних добрив і збереження ґрунтової вологи в сучасних умовах аграрного виробництва.

У першому розділі проаналізовано стан виробництва кукурудзи на зерно в Україні, біологічні особливості культури та основні технології її вирощування. Встановлено, що кукурудза залишається однією з важливих зернових культур, однак її виробництво залежить від погодних умов, вартості ресурсів, рівня технічного забезпечення та ефективності технологічних операцій. Порівняння традиційного обробітку, мінімального обробітку, No-Till і Strip-Till показало, що смуговий обробіток є доцільним компромісом для кукурудзи, оскільки забезпечує підготовку саме зони рядка без суцільного обробітку всієї площі поля.

У другому розділі розроблено технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till на площі 300 га. Планову урожайність прийнято 8,3 т/га, що забезпечує валовий збір зерна 2490 т. До складу технологічної карти включено операції подрібнення рослинних решток, навантаження і перевезення добрив, смуговий обробіток ґрунту з локальним внесенням мінеральних добрив, підготовку насіння, сівбу, хімічний захист, підживлення, збирання врожаю та перевезення зерна на тік.

Особливістю розробленої технологічної карти є заміна традиційних операцій суцільного основного та передпосівного обробітку однією операцією смугового обробітку ґрунту з локальним внесенням добрив. Для виконання основної операції прийнято агрегат у складі трактора Case Magnum 335 та Strip-Till-агрегату. За результатами розрахунку загальні витрати пального на виконання комплексу механізованих робіт становлять 14016,8 кг, загальні затрати праці – 601,7 люд.-год, а сумарна кількість нормо-змін – 84,5.

У третьому розділі виконано удосконалення пристрою для локального внесення мінеральних добрив робочої секції Strip-Till-агрегату. Запропонована конструкція передбачає застосування розпушувальної стійки з туковим ножом, адаптивними пластинами, тукопроводами та змінним носком ножа. Така конструкція дозволяє подавати добрива в нижню частину сформованої щілини, підвищує ремонтпридатність робочого органа та дає змогу замінювати зношені елементи без заміни всієї стійки.

Виконані розрахунки основних параметрів пристрою показали, що прийнятий діаметр тукопроводу забезпечує необхідну подачу мінеральних добрив за норми внесення 150 кг/га. Розрахунок тягового опору показав, що повний тяговий опір восьмирядного Strip-Till-агрегату становить близько 55,4 кН, а необхідна тягова потужність – близько 145 кВт. Це підтверджує можливість агрегування розробленого робочого органа з прийнятим енергетичним засобом.

Перевірка адаптивної пластини кріплення тукового ножа на міцність показала, що конструкція має достатній запас міцності. Напруження в ослабленому перерізі пластини та напруження зрізу в болтах не перевищують допустимих значень. Отже, запропонований вузол кріплення є працездатним і може бути використаний у складі робочої секції Strip-Till-агрегату.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища при вирощуванні кукурудзи на зерно за технологією Strip-Till. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані з експлуатацією машинно-тракторних агрегатів, роботою з мінеральними добривами, застосуванням засобів захисту рослин і виконанням збирально-транспортних робіт. Запропоновано заходи щодо безпечного виконання механізованих операцій, обслуговування техніки, роботи з добривами та гербіцидами.

Екологічна оцінка показала, що впровадження Strip-Till може позитивно впливати на стан ґрунту за рахунок зменшення кількості проходів техніки, часткового збереження рослинних решток у міжряддях, зниження ризику ерозії

та локального внесення добрив. Водночас ефективність цієї технології залежить від правильного налаштування агрегатів, дотримання норм внесення добрив і засобів захисту рослин, а також якісного технічного обслуговування машин.

У п'ятому розділі виконано техніко-економічну оцінку впровадження технології Strip-Till. Порівняння з базовою технологією показало, що витрати пального зменшуються з 21516,8 до 14016,8 кг, тобто економія становить 7500 кг. Питомі витрати пального знижуються з 71,7 до 46,7 кг/га. Затрати праці зменшуються з 781,0 до 601,7 люд.-год, а економія праці становить 179,3 люд.-год.

За прийнятих розрахункових цін економія коштів на пальному становить 491071,4 грн, економія витрат на оплату праці – 17930 грн, а загальний річний економічний ефект – 509001,4 грн. Економічний ефект на 1 га становить 1696,7 грн/га. За додаткових капітальних вкладень 160000 грн строк окупності становить 0,31 року, тобто запропоноване удосконалення окупається менш ніж за один виробничий сезон.

Отже, впровадження технології Strip-Till при вирощуванні кукурудзи на зерно є технічно й економічно доцільним. Розроблена технологічна карта, підібраний склад машинно-тракторних агрегатів і запропоноване удосконалення робочої секції забезпечують зменшення витрат пального, скорочення затрат праці, локальне внесення добрив і підвищення ремонтпридатності робочого органа. Це підтверджує ефективність запропонованих рішень для використання в умовах механізованого вирощування кукурудзи на зерно.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кукурудзяна статистика: площі, валовий збір та урожайність зернової за 2017–2024 рр. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://superagronom.com/articles/764-kukurudzyana-statistika-ploschi-valoviy-zbir-ta-urojajnost-zernovoyi-za-2017-2024-rr>
2. Grain and Feed Quarterly: Kyiv, Ukraine UP2024-0022 [Електронний ресурс] / USDA Foreign Agricultural Service. — Режим доступу : [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain+and+Feed+Quarterly\\_Kyiv\\_Ukraine\\_UP2024-0022](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain+and+Feed+Quarterly_Kyiv_Ukraine_UP2024-0022)
3. GIEWS Country Brief: Ukraine [Електронний ресурс] / Food and Agriculture Organization of the United Nations. — Режим доступу : <https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=UKR>
4. Maize [Електронний ресурс] / Food and Agriculture Organization of the United Nations. — Режим доступу : <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/es/>
5. Corn Growth and Development [Електронний ресурс] / Purdue University Extension. — Режим доступу : <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/nch/nch-40.html>
6. Effect of vertical and strip tillage on corn and soybean grain yield [Електронний ресурс] / Crop Science Bayern. — Режим доступу : <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/effect-of-vertical-and-strip-tillage-on-corn-and-soybean-grain-yield>
7. No-Till vs. Strip-Till Corn and Soybeans Following a Cereal Rye Cover Crop [Електронний ресурс] / Practical Farmers of Iowa. — Режим доступу : <https://practicalfarmers.org/resources/research-reports/no-till-vs-strip-till-corn-and-soybeans-following-a-cereal-rye-cover-crop/>
8. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Експлуатація машин і обладнання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП

«Агроінженерія» / О. Д. Деркач, Д. О. Макаренко, П. М. Кухаренко. — Дніпро : ДДАЕУ, 2022. — 246 с.

9. 1tRIPr Strip-Tillage [Електронний ресурс] / Orthman Manufacturing. — Режим доступу : <https://www.orthmanequip.com/strip-tillage/1tripr/>

10. Gladiator 1210 [Електронний ресурс] / KUHN. — Режим доступу : <https://www.kuhn.com/en/crop/tillage-implements/strip-till/trailed-strip-till/gladiator-1210>

11. Pluribus Strip-Till Unit [Електронний ресурс] / Dawn Equipment. — Режим доступу : <https://www.dawnequipment.com/pluribus>

12. 2984 Maverick HR Plus Strip-Till Unit [Електронний ресурс] / Yetter Farm Equipment. — Режим доступу : <https://www.yetterco.com/products/17-striptillage/51-2984-maverick-hr-plus>

13. SoilWarrior 4500 [Електронний ресурс] / Environmental Tillage Systems. — Режим доступу : <https://www.soilwarrior.com/soilwarriors/soilwarrior-4500>

14. Agricultural tillage device : пат. US8359988B2 США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/US8359988B2/en>

15. Fertilizer applicator with coulter for minimum soil displacement : пат. US9226437B2 США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/US9226437B2/en>

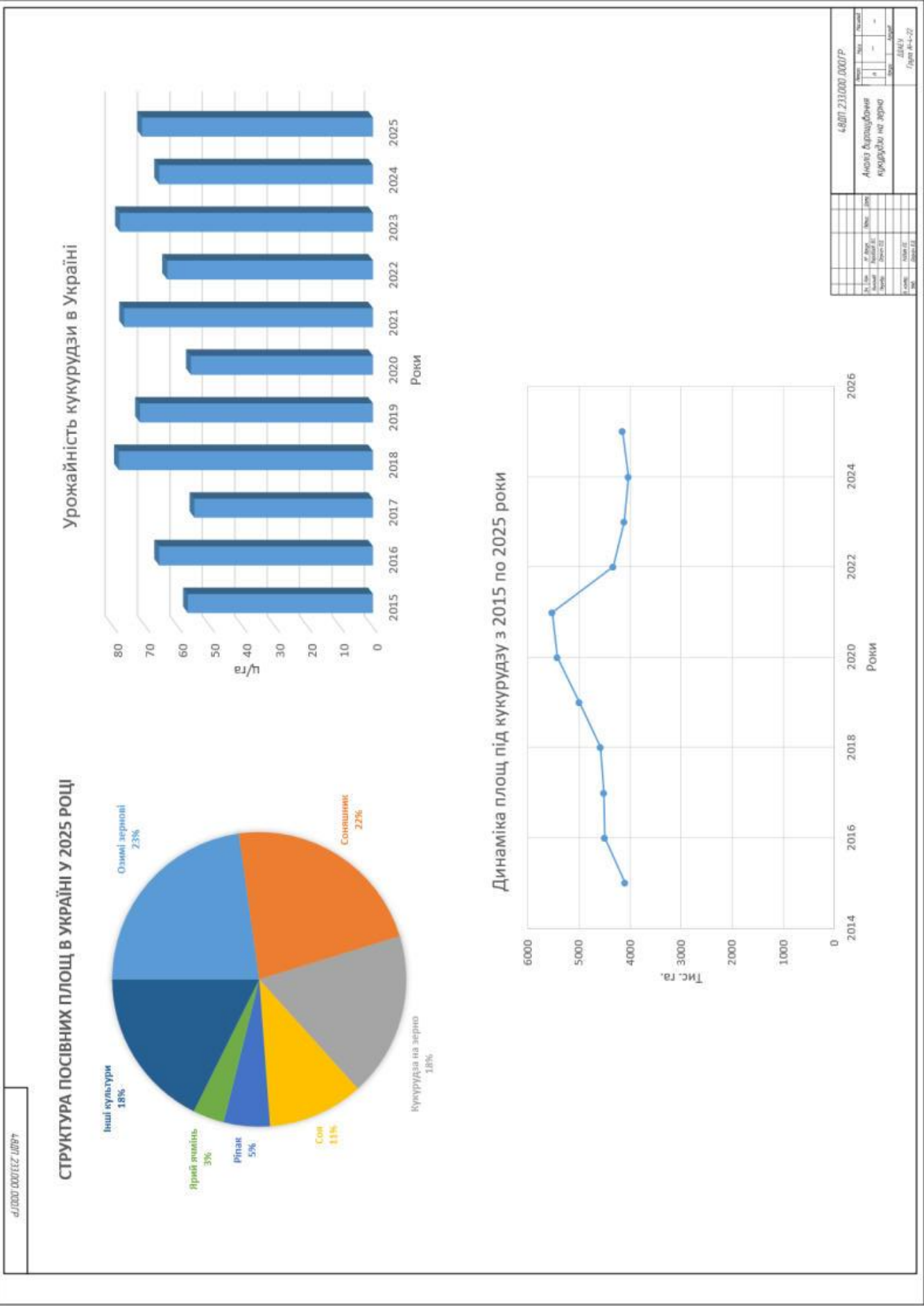
16. Compact parallel arm row cleaner : пат. US10729053B2 США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/US10729053B2/en>

17. Depth control of an agricultural fertilizer row unit : пат. US10182522B2 США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/US10182522B2/en>

18. Strip till implement : пат. US7540245B1 США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/US7540245B1/en>

19. Coulter wheel assembly including applying dry or liquid fertilizer : пат. USRE36243E США [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/USRE36243E/en>
20. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки : методичні рекомендації для дипломного проектування студентам спеціальності 3113 «Механізація сільського господарства». — Львів : Львівський державний сільськогосподарський інститут, 1994. — 27 с.
21. Агроекологія / М. М. Городній [та ін.]. — К. : Вища школа, 1993. — 416 с.
22. Нова сільськогосподарська техніка / В. А. Ясенецький [та ін.]. — К. : Урожай, 1991.
23. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко [та ін.] ; за ред. Д. Г. Войтюка. — К. : Вища освіта, 2004. — 544 с.
24. Довідник сільського інженера / В. Д. Грекосій [та ін.]. — К. : Урожай, 1988. — 360 с.
25. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 21.09.2018 за № 1090/32542.
26. Практикум з використання машин у рослинництві / В. Ю. Ільченко, А. С. Кобець, В. П. Мельник, П. І. Карасьов, П. М. Кухаренко, А. В. Ільченко. — Дніпропетровськ : Дніпропетр. держ. агр. ун-т, 2002. — 212 с.
27. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. — К. : Урожай, 1994. — 448 с.
28. Методичні положення та норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур / І. М. Демчак, В. С. Пивовар, В. М. Івченко, Л. В. Кукса [та ін.]. — Київ : НДІ «Укراгропромпродуктивність», 2019. — 160 с.

## ДОДАТКИ



Объем розлива - 300 г

[illegible][illegible]

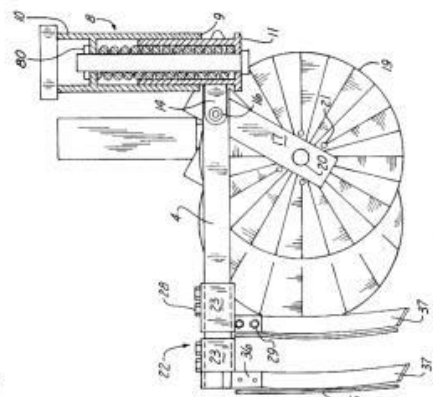


Схема згідно патенту USRE36243E

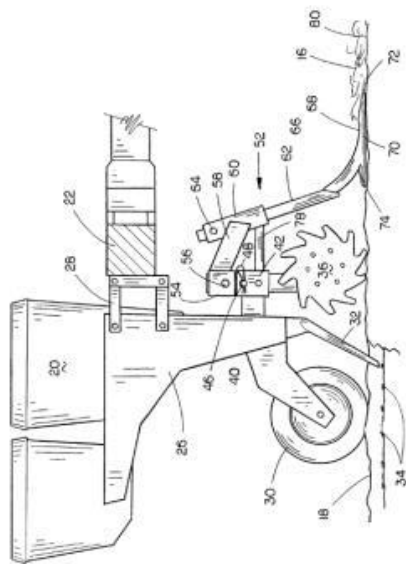
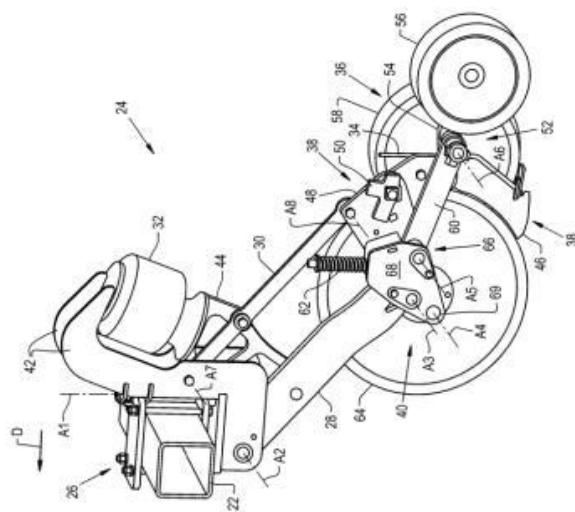


Схема згідно патенту US7540245B1



Робочий орган згідно патенту  
US8359988B2

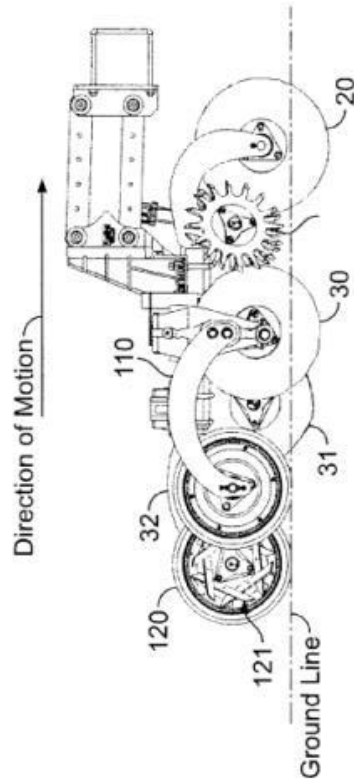
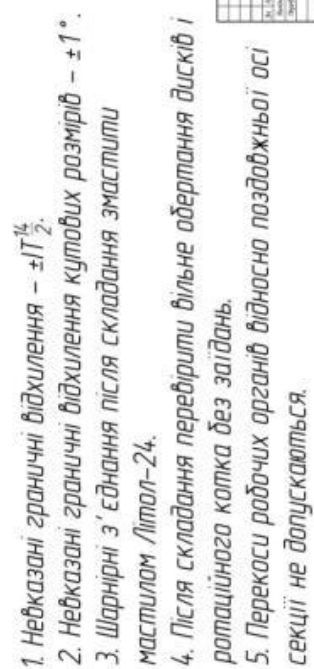
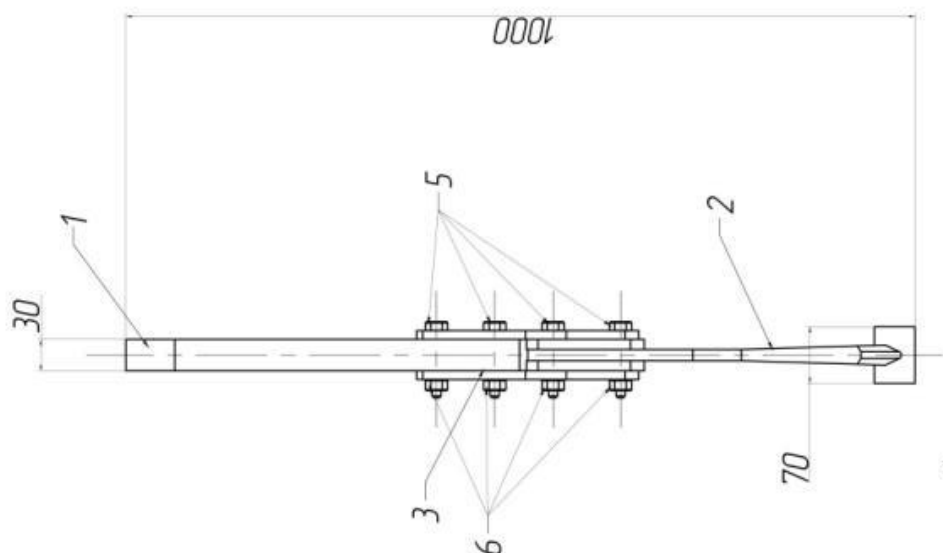


Схема згідно патенту US8359988B2

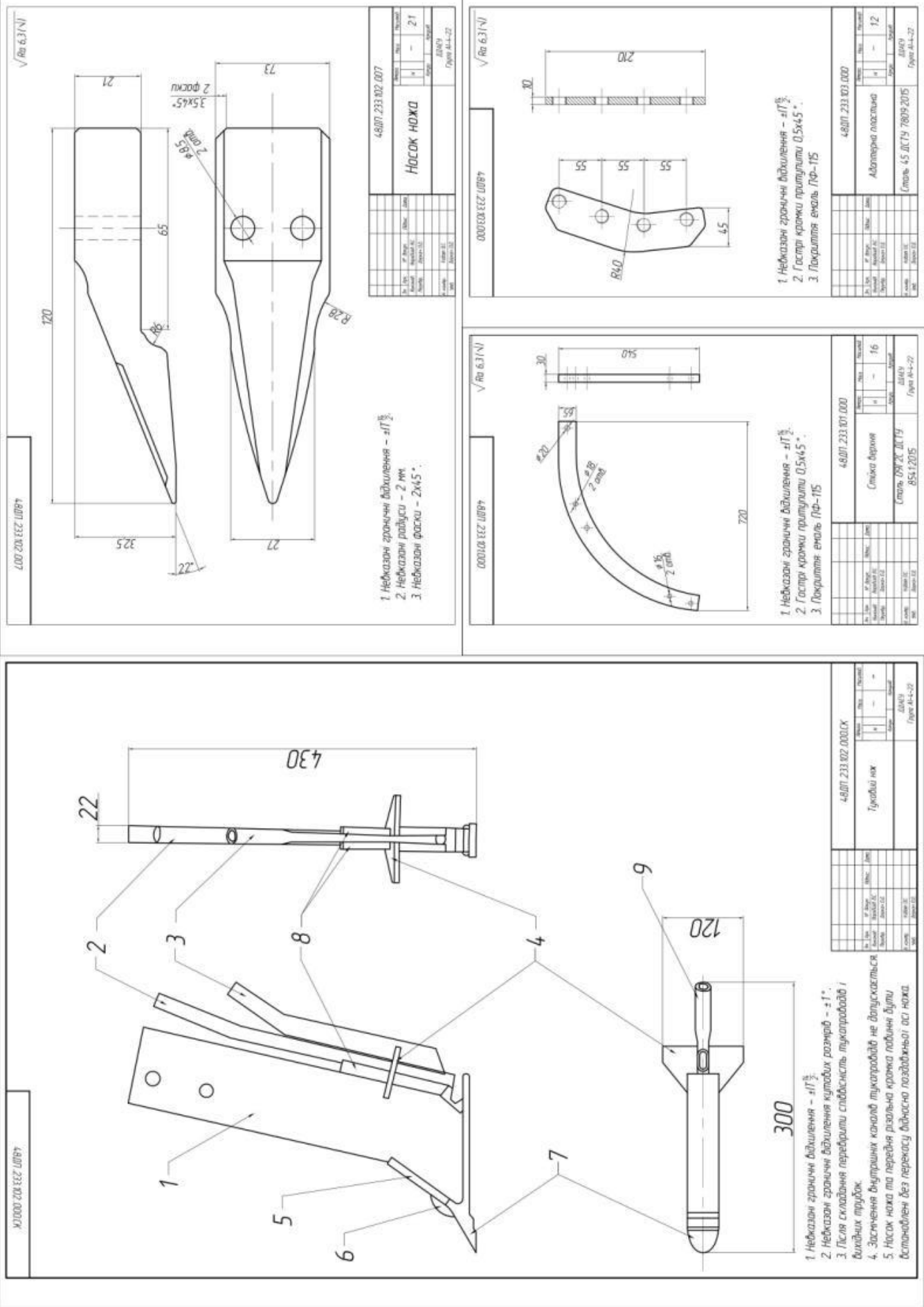
|                    |       |                      |       |           |       |
|--------------------|-------|----------------------|-------|-----------|-------|
| 4801 231000 000104 |       | Потенційні очолювачі |       | Додаток В |       |
| № п/п              | № п/п | № п/п                | № п/п | № п/п     | № п/п |
| 1                  | 2     | 3                    | 4     | 5         | 6     |
| 7                  | 8     | 9                    | 10    | 11        | 12    |
| 13                 | 14    | 15                   | 16    | 17        | 18    |
| 19                 | 20    | 21                   | 22    | 23        | 24    |
| 25                 | 26    | 27                   | 28    | 29        | 30    |
| 31                 | 32    | 33                   | 34    | 35        | 36    |
| 37                 | 38    | 39                   | 40    | 41        | 42    |
| 43                 | 44    | 45                   | 46    | 47        | 48    |
| 49                 | 50    | 51                   | 52    | 53        | 54    |
| 55                 | 56    | 57                   | 58    | 59        | 60    |
| 61                 | 62    | 63                   | 64    | 65        | 66    |
| 67                 | 68    | 69                   | 70    | 71        | 72    |
| 73                 | 74    | 75                   | 76    | 77        | 78    |
| 79                 | 80    | 81                   | 82    | 83        | 84    |
| 85                 | 86    | 87                   | 88    | 89        | 90    |
| 91                 | 92    | 93                   | 94    | 95        | 96    |
| 97                 | 98    | 99                   | 100   | 101       | 102   |

[illegible]



1. Невказані граничні відхилення –  $\pm IT_2^{14}$ .
2. Невказані граничні відхилення кутових розмірів –  $\pm 1^\circ$ .
3. Шарнірні з'єднання після складання змастити мастилом Літол-24.
4. Після складання перевірити вільне обертання дисків і ротаційного котка без заїздів.
5. Перекося робочих органів відносно поздовжньої осі секції не допускаються.

[illegible]



48ДП.233.000.000.ЕК

| Параметр                            | До впровадження | Після впровадження |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------|
| Загальні витрати пального, кг       | 21516,8         | 14016,8            |
| Вартість пального, грн              | 1408838,1       | 917766,7           |
| Затрати праці, люд.-год             | 7810            | 6017               |
| Витрати на оплату праці, грн        | 78100           | 60170              |
| Загальні змінні витрати, грн        | 1486938,1       | 977936,7           |
| Додаткові капітальні вкладення, грн | 0               | 160000             |
| Загальний економічний ефект, грн    | 0               | 5090014            |
| Економічний ефект на 1 га, грн/га   | 0               | 1696,7             |
| Строк окупності, років              | —               | 0,31               |
| Строк окупності, місяців            | —               | 3,7                |

|                     |  |              |  |        |  |      |  |               |  |
|---------------------|--|--------------|--|--------|--|------|--|---------------|--|
| 48ДП.233.000.000.ЕК |  |              |  |        |  |      |  |               |  |
| Економічна оцінка   |  |              |  |        |  |      |  |               |  |
| Зм.   Арх.          |  | № докум.     |  | Підпис |  | Дата |  | Автори        |  |
| Висновок            |  | Варіант В.С. |  |        |  |      |  | Масиш         |  |
| Пояснення           |  | Держав. О.Д. |  |        |  |      |  | —             |  |
|                     |  |              |  |        |  |      |  | Архив         |  |
| Н. керів.           |  | Кабачок О.С. |  |        |  |      |  | ДДАЕСУ        |  |
| Зм.   Арх.          |  | Держав. О.Д. |  |        |  |      |  | Група АІ-4-22 |  |

[illegible]

[illegible]

[illegible]